



(51) 国際特許分類7

H01H 59/00, B81B 3/00, B81C 1/00

A1

(11) 国際公開番号

WO00/38209

(43) 国際公開日

2000年6月29日(29.06.00)

(21) 国際出願番号

PCT/JP99/07137

(22) 国際出願日

1999年12月20日(20.12.99)

(30) 優先権データ

特願平10/365690

1998年12月22日(22.12.98)

JP

(71) 出願人 (米国を除くすべての指定国について)

日本電気株式会社(NEC CORPORATION)[JP/JP]  
〒108-0014 東京都港区芝五丁目7番1号 Tokyo, (JP)

(72) 発明者; および

(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ)

鈴木健一郎(SUZUKI, Kenichiro)[JP/JP]

丸本恒久(MARUMOTO, Tsunehisa)[JP/JP]

〒108-0014 東京都港区芝五丁目7番1号

日本電気株式会社内 Tokyo, (JP)

(74) 代理人

天野 広(AMANO, Hiroshi)

〒108-0014 東京都港区芝四丁目6番4号 峯村ビル2階  
Tokyo, (JP)

(81) 指定国 AU, CA, KR, US, 欧州特許 (DE, FR, GB, SE)

添付公開書類

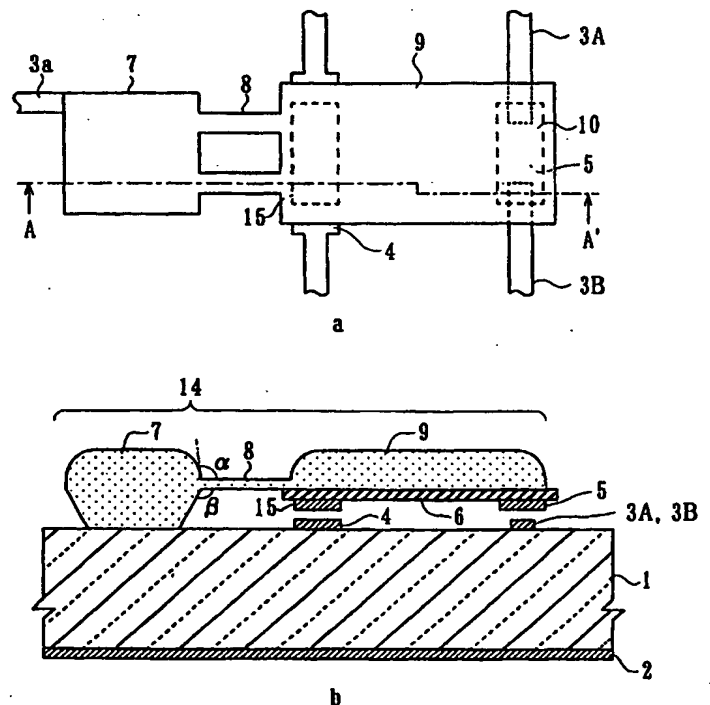
国際調査報告書

(54)Title: MICROMACHINE SWITCH AND ITS PRODUCTION METHOD

(54)発明の名称 マイクロマシンスイッチおよびその製造方法

## (57) Abstract

A micromachine switch comprises a support member having a predetermined height from the surface of a base, a flexible cantilevered arm projecting from the support member parallel to the surface of the base and facing the gap between two signal lines, a contact electrode provided to the cantilevered arm and facing the gap, a lower electrode provided on the base and facing a part of the cantilevered arm, and an intermediate electrode provided to the cantilevered arm and facing the lower electrode. The micromachine switch operates with a driving voltage lower than that of prior art. The breakdown voltage characteristic of the insulating film is improved.



(57)要約

本発明に係るマイクロマシンスイッチは、基板の表面に対して所定の高さを有する支持部材と、この支持部材から基板の表面に対して水平に突出し、かつ、一部が二つの信号線の間のギャップと対向するように設けられた可撓性の片持ちアームと、ギャップに対向して片持ちアームに設けられた接触電極と、基板上に片持ちアームの一部と対向して設けられた下部電極と、下部電極に対向して片持ちアームに設けられた中間電極と、を備える。本マイクロマシンスイッチによれば、従来よりも低い駆動電圧で動作が可能であり、さらに、絶縁体膜の耐圧特性を上昇させることができる。

PCTに基づいて公開される国際出願のパンフレット第一頁に掲載されたPCT加盟国を同定するために使用されるコード(参考情報)

AE アラブ首長国連邦	DM ドミニカ	KZ カザフスタン	RU ロシア
AG アンティグア・バーブーダ	DZ アルジェリア	LC セントルシア	SD スーダン
AL アルバニア	EE エストニア	LI リヒテンシュタイン	SE スウェーデン
AM アルメニア	ES スペイン	LK スリ・ランカ	SG シンガポール
AT オーストリア	FI フィンランド	LR リベリア	SI スロヴェニア
AU オーストラリア	FR フランス	LS レソト	SK スロヴァキア
AZ アゼルバイジャン	GA ガボン	LT リトアニア	SL シェラ・レオネ
BA ボスニア・ヘルツェゴビナ	GB 英国	LU ルクセンブルグ	SN セネガル
BB バルバドス	GD グレナダ	LV ラトヴィア	SZ スワジランド
BE ベルギー	GE グルジア	MA モロッコ	TD チャード
BF ブルキナ・ファソ	GH ガーナ	MC モナコ	TG トーゴ
BG ブルガリア	GM ガンビア	MD モルドヴァ	TJ タジキスタン
BJ ベナン	GN ギニア	MG マダガスカル	TM トルクメニスタン
BR ブラジル	GR ギリシャ	MK マケドニア旧ユーゴスラヴィア	TR トルコ
BY ベラルーシ	GW ギニア・ビサオ		TT トリニダッド・トバゴ
CA カナダ	HR クロアチア	ML マリ	TZ タンザニア
CC 中央アフリカ	HU ハンガリー	MN モンゴル	UA ウクライナ
CG コンゴ	ID インドネシア	MR モーリタニア	UG ウガンダ
CH スイス	IE アイルランド	MW マラウイ	US 米国
CJ コートジボアール	IL イスラエル	MX メキシコ	UZ ウズベキスタン
CM カメルーン	IN インド	MZ モザンビーク	VN ヲトナム
CN 中国	IS アイスランド	NE ニジェール	YU ユーゴスラヴィア
CR コスタ・リカ	IT イタリア	NL オランダ	ZA 南アフリカ共和国
CU キューバ	JP 日本	NO ノールウェー	ZW ジンバブエ
CY キプロス	KE ケニア	NZ ニュージーランド	
CZ チェッコ	KG キルギスタン	PL ポーランド	
DE ドイツ	KP 北朝鮮	PT ポルトガル	
DK デンマーク	KR 韓国	RO ルーマニア	

明 細 書

## マイクロマシンスイッチおよびその製造方法

発明の技術分野

本発明は、マイクロマシンスイッチおよびその製造方法に関し、特に、直流電流（DC）からギガヘルツ以上の広い信号周波数の交流電流までの電流のオン／オフ制御を可能とするマイクロマシンスイッチおよびその製造方法に関するものである。

発明の背景

これまでに多くのマイクロマシンスイッチが提案されてきている。その一例として、特開平9-17300号公報に記載されているマイクロマシンスイッチを以下に説明する。

図20は、同公報に開示されたマイクロマシンスイッチの平面図（a）およびそのE-E'線断面図（b）である。

同図に示すように、ガリウムヒ素からなる基板51上には、熱硬化ポリイミドからなるアンカー構造52と、金からなる下部電極53と、金からなる一対の信号線54とが設けられている。一対の信号線54は、図20（a）に示すように、各信号線の一端が対向するように配置されている。

アンカー構造52の上にはシリコン酸化膜からなる片持ちアーム55が支持されており、この片持ちアーム55は、下部電極53を越えて信号線54の位置まで延びており、下部電極53及び信号線54と空間的な隙間を介して対向している。

片持ちアーム55の上面には、アルミからなる上部電極56が形成されており、上部電極56はアンカー構造52から下部電極53に対向する位置まで延びている。

また、片持ちアーム55の底面には、信号線54に対向する位置において、金からなる接触電極57が設けられている。

以上のような構造を有するマイクロマシンスイッチは次のように作動する。

上部電極 56 と下部電極 53 との間に 30 V の電圧を印加すると、静電気力により上部電極 56 に基板 51 の方向（矢印 58 の下向き）に向かう引力が働く。このため、片持ちアーム 55 がアンカー構造 52 を支点として基板 51 に向かって変形し、接触電極 57 が一對の信号線 54 の両端と接触する。

通常の状態では、図 20 (b) に示すように、接触電極 57 と信号線 54 との間には隙間が設けられ、かつ、2 本の信号線 54 は互いに切り離されている。このため、下部電極 53 に電圧が印加されない状態では、信号線 54 に電流は流れない。

これに対して、下部電極 53 に電圧が印加され、接触電極 57 が一對の信号線 54 の双方と接触した状態では、2 本の信号線 54 は相互に短絡し、両者の間を電流が流れることができる。

このように、下部電極 53 への電圧印加及び印加解除を行うことによって、信号線 54 の通電又は非通電、あるいは、信号線 54 を通る信号のオン／オフを制御することができる。

ただし、スイッチの損失を低減させるためには、上部電極 56 と接触電極 57 とが電氣的に十分に絶縁されていることが重要である。すなわち、もし、上部電極 56 と接触電極 57 が相互に電氣的に短絡していれば、信号線 54 を流れる信号（直流電流を含む）が上部電極 56 にも流れ出ることとなり、スイッチ特性が悪化する。

また、上部電極 56 と接触電極 57 とが短絡していなくとも、静電容量がかなり大きいような状態の下においては、信号線 54 を流れる交流信号がやはり上部電極 56 に流れて外部に漏洩する。

このように、上部電極 56 と接触電極 57 との電氣的絶縁が十分でない場合には、信号線 54 からの信号の漏れが大きくなり、スイッチ特性が悪化する。

しかしながら、図 20 に示した従来のマイクロマシンスイッチには、以下の問題点があることが判明した。

スイッチをオンさせる（すなわち、接触電極 57 が信号線 54 に接触する）ためには、片持ちアーム 55 の復元力に勝る静電気力を発生するように、上部電極

5 6 と下部電極 5 3 との間に十分な電圧を印加させることが必要である。上部電極 5 6 と下部電極 5 3 との間の距離を  $D$ 、片持ちアーム 5 5 の厚さを  $W$  とすると、発生する静電気力は  $(D - W)^2$  に反比例する。従って、片持ちアーム 5 5 の厚さ  $W$  は一定であるため、両者の電極間の距離  $D$  を小さく設計することが重要である。

図 2 0 に示したマイクロマシンスイッチにおいては、図 2 0 (b) に示すように、上部電極 5 6 と下部電極 5 3 との間の距離  $D$  は、片持ちアーム 5 5 の厚さ  $W$  と、接触電極 5 7 と信号線 5 4 との間の距離  $S$  との和よりも接触電極 5 7 の厚さ  $W_a$  の分だけ大きくなる。

例えば、高周波応用において信号の損失を少なくするためには、接触電極 5 7 および信号線 5 4 の厚さをそれぞれ  $2 \mu\text{m}$  程度にする必要がある。

また、スイッチのオフ時に信号線 5 4 と接触電極 5 7 との間の静電容量的結合を小さくするためには、両者を  $4 \mu\text{m}$  以上離れた構成にする必要がある。このため、上部電極 5 6 と下部電極 5 3 とは、片持ちアーム 5 5 の厚さ  $W + 6 \mu\text{m}$  ( $4 \mu\text{m} + 2 \mu\text{m}$ ) 程度離して配置されることになる。

このとき、上部電極 5 6 と下部電極 5 3 とが重なり合う領域を  $10,000 \mu\text{m}^2$  とし、片持ちアーム 5 5 の幅を  $20 \mu\text{m}$ 、長さを  $130 \mu\text{m}$  とすると、約  $100 \text{V}$  もの高い電圧を上部電極 5 6 と下部電極 5 3 との間に印加しなければならないことが本願発明者によって確認された。

この場合、片持ちアーム 5 5 の長さを長くしたり、幅を小さくしたりすることにより、片持ちアーム 5 5 の復元力を小さくするように設計することも可能であるが、このように、長さの拡大又は幅の縮小はデバイスの作製途中あるいはデバイスの動作中における片持ちアーム 5 5 の破損を引き起こすおそれがある。

一方、上部電極 5 6 と下部電極 5 3 とが重なり合う領域を大きくすることにより、大きな静電気力を発生させることができ、印加電圧を低減させることが可能であるが、それではデバイス全体が大きくなってしまう。

従来のマイクロマシンスイッチにおいては、このような方法で印加電圧の低減を実現しているが、この方法は明らかにデバイス全体の寸法が大きくなるという代償を払ったものであり、スイッチの小型化に関して大きな限界がある。

また、100Vもの高い電圧が必要とされることから、絶縁破壊によるデバイスの破壊を防止するために、片持ちアーム55の膜質を良質なものにすることが必要とされる。

しかしながら、図20に示した従来のマイクロマシンスイッチのように、金からなる接触電極57の上に酸化膜の片持ちアーム55を低温堆積プロセス（250℃以下のプラズマCVDプロセス）によって作製するような方法では、十分な耐圧特性を持った酸化膜を形成することは極めて困難であるか、あるいは、ほぼ不可能である。

さらに、印加電圧が高くなると、駆動用の回路で消費される電力が増大するため、特に、多数のスイッチを配列する構成を有するアンテナには、従来のマイクロスイッチを応用することができないということが判明した。

図20に示した上述のマイクロマシンスイッチ以外にも多くのマイクロマシンスイッチがこれまでに提案されている。

例えば、特開平2-260333号公報は、第一導電型シリコン半導体基板上に第二導電型エピタキシャル層を形成する工程と、このエピタキシャル層上に二酸化シリコン膜を形成する工程と、所定領域の二酸化シリコン膜を局部的に除去して開口部を形成する工程と、この開口部を介して二酸化シリコン膜の下方のエピタキシャル膜をエレクトロケミカルエッチングにより局部的に除去する工程と、を備えるマイクロマシンスイッチの製造方法を提案している。

特開平6-267926号公報は、マイクロマシンスイッチの製造方法におけるエッチング工程であって、エッチングマスク又はエッチング停止層として窒化シリコン膜を用いるエッチング工程において、窒化シリコン膜の応力 $\sigma$ を

$$|\sigma| \leq 3 \times 10^9 \text{ dyn/cm}^2$$

に設定する方法を提案している。

特許公報第2693065号公報（特開平4-306520号公報）は、平坦な表面を有する誘電材料からなる基板と、基板の表面に設けられ、相互に隔てられた第一及び第二の伝送ラインセグメントと、基板の表面に取り付けられたハブと、ハブを中心として回転可能にハブに取り付けられているスイッチブレードと、基板の表面に取り付けられ、開回路位置と閉回路位置との間でスイッチブレード

ドを回転させる静電界を生成するための制御信号が供給される制御パッドと、からなるマイクロマシンスイッチを提案している。スイッチブレードは導電材料で構成され、閉回路位置に回転したときに、第一の伝送ラインセグメントと第二の伝送ラインセグメントとの間の回路を電氣的に閉じる寸法を有している。

特開平4-370622号公報は、可動側基体と固定側基体とがともに導電性材料からなるものである静電リレーを開示している。

特開平9-213191号公報は、絶縁性基体上に固定された接続部及び絶縁性基体と一定の空隙を隔てて接続部に続く可動支持部からなる支持梁と、可動支持部下方の絶縁性基体上に形成された第一の電極と、可動支持部の第一の電極に対向する面において、第一の電極と所定の空隙をあけて形成された第二の電極と、を備えたマイクロマシンスイッチを提案している。

特表平8-509093号公報は、キャビティを有し、多結晶材料から形成される第一基板と、キャビティの両端部において第一基板上に両端部が支持されている橋絡部材と、この橋絡部材の中間位置に設けられた第一電気接点と、絶縁材料から形成され、第一電気接点と係合するように配置された第二電気接点を有している第二基板と、橋絡部材上に設けられ、第一電気接点を第二電気接点から変位させるための手段と、橋絡部材を選択的に移動させ、第一電気接点と第二電気接点とを係合させるための手段と、を備えているリレーを開示している。

特開平10-149757号公報は、少なくとも一つのヒンジを介して可動部を厚さ方向に弾性変位可能に支持する一方、この可動部の表裏面に対向する対向面のうちの一方の対向面に駆動用固定電極を設けるとともに、可動部の少なくとも一つのヒンジに歪み抵抗素子を設け、可動部及び駆動用固定電極を入力端子に各々接続した駆動素子と、歪み抵抗素子に接続した抵抗分圧回路と、抵抗分圧回路をゲートに接続し、かつ、出力端子に接続した電界効果トランジスタFETと、からなる半導体マイクロリレーを開示している。

特開平8-213803号公報は、直列に配置された複数のスイッチ可能な移相素子を備え、連続する移相素子間は相互に接続されており、移相素子の各々が偏向可能素子を備える少なくとも一つのスイッチを有しており、スイッチの設定が移相素子を通る信号に対する移相を決定する移相器を提案している。

特開平 11-204013 号公報は、基体に設けられた可動部駆動用電極と、基体に設けられた固定接点となる固定コンタクト電極と、基体の一部が固定された支持梁と、可動部駆動用電極と対向するように支持梁に設けられた可動吸引電極と、固定コンタクト電極と対向するように支持梁に設けられた可動接点となる可動コンタクト電極とを備え、可動部駆動用電極と可動吸引電極との間の静電引力により支持梁を動かして固定コンタクト電極と可動コンタクト電極とからなる接点を開閉する静電型可動接点素子であって、可動部駆動用電極は、基体上に複数設けられたものであり、各電極が同一の面積を有するものである静電型可動接点素子を提案している。

特開平 5-2972 号公報は、可動側基体の裏側に設けられた可動接点と固定側基体の表側に設けられた固定接点に対面するようにして可動側基体と固定側基体とが配置され、可動側基体が裏面に可動接点を有する可動部とこの可動部を可動接点と固定接点が接離する変位可能に支持する支持部とを備えており、両基体の駆動電極間への駆動電圧印加により発生する静電力で可動部が変位して接点の接離がなされるようになっている静電リレーにおいて、可動側基体と固定側基体とがともに導電性材料からなるとともに、固定側基体又は可動側基体にリレー駆動用回路が設けられていることを特徴とする静電リレーを提案している。

特開平 5-2973 号公報は、可動側基体の裏側に設けられた可動接点と固定側基体の表側に設けられた固定接点に対面するようにして可動側基体と固定側基体とが配置され、可動側基体が裏面に可動接点を有する可動部とこの可動部を可動接点と固定接点が接離する変位可能に支持する支持部とを備えており、両基体の駆動電極間への駆動電圧印加により発生する静電力で可動部が変位して接点の接離がなされるようになっている静電リレーにおいて、可動側基体と固定側基体とがともに導電性材料からなっており、固定側駆動電極と可動側駆動電極との間に変位の際の静電力を強めるエレクトレットが設けられていることを特徴とする静電リレーを提案している。

これらの公報に記載されたマイクロマシンスイッチその他これに類する装置によっても、上記の課題は解決されていない。

本発明は、このような課題を解決するためのものであり、従来のマイクロマシ



ンスイッチの動作電圧よりも低い駆動電圧で動作可能なマイクロマシンスイッチおよびその製造方法を提供することを主な目的とする。

また、本発明は、印加電圧を下げるできない場合に備え、絶縁体膜の耐圧特性を上昇させることによってデバイス特性を改善することをその他の目的とする。

### 発明の概略

この目的を達成するため、本発明は、基板上に設けられた第1の信号線と、前記基板上に設けられ、かつ、前記第1の信号線の端部から所定のギャップを隔てて位置する端部を有する第2の信号線との間の導通／非導通を制御するマイクロマシンスイッチにおいて、前記基板上に設けられ、かつ、前記基板の表面に対して所定の高さを有する支持部材と、前記支持部材から前記基板の表面に対して略水平に突出し、かつ、一部が前記ギャップと対向するようにして設けられた可撓性の梁部材と、前記梁部材の前記基板と対向する面において、少なくとも前記ギャップと対向する位置に設けられた接触電極と、前記梁部材の一部と対向して前記基板上において設けられた下部電極と、前記下部電極と対向して前記梁部材に設けられた中間電極と、を備えたことを特徴とするマイクロマシンスイッチを提供する。

前記支持部材と前記梁部材の少なくとも一部とは同一の導電性部材からなる一体構造であることが好ましい。

前記梁部材は、例えば、前記支持部材から少なくとも前記下部電極と対向する位置まで延びている導電性部材と、前記導電性部材の先端から前記ギャップと対向する位置まで延びている絶縁性部材と、から構成することができ、前記接触電極は、前記ギャップと対向して前記絶縁性部材に設けることができる。

前記導電性部材は少なくとも2つ以上の片持ちアームを構成するものであることが好ましい。

前記梁部材は、前記絶縁性部材上において前記導電性部材と一体に成形されている上部電極をさらに備えることが好ましい。

前記上部電極は前記中間電極から前記接触電極にわたって形成されていること

が好ましい。

前記上部電極及び前記絶縁性部材には前記下部電極に通じる貫通孔が形成されていることが好ましい。

前記上部電極、前記絶縁性部材及び前記接触電極を貫通する貫通孔が形成されていることが好ましい。

前記上部電極は前記導電性部材よりも小さくない厚みを有していることが好ましい。

前記支持部材は、例えば、浮遊電位を有するものとして構成することができる。

本マイクロマシンスイッチは、前記基板上に設けられ、かつ、前記基板の表面に対して所定の高さを有する少なくとも一つの第二の支持部材をさらに備えていることが好ましく、前記第二の支持部材は、前記第二の支持部材から前記基板の表面に対して略水平に突出した少なくとも一つのアームを介して前記梁部材と接続しているものであることが好ましい。

本マイクロマシンスイッチは、前記梁部材の一部と対向して前記基板上において設けられた第二の下部電極と、前記第二の下部電極と対向して前記梁部材に設けられた第二の中間電極と、をさらに備えることが好ましい。

本発明、基板上に設けられた第1の信号線と、前記基板上に設けられ、かつ、前記第1の信号線の端部から所定のギャップを隔てて位置する端部を有する第2の信号線との間の導通／非導通を制御するマイクロマシンスイッチにおいて、前記基板上に設けられ、かつ、前記基板の表面に対して所定の高さを有する支持部材と、前記支持部材から前記基板の表面に対して略水平に突出し、かつ、一部が前記ギャップと対向するようにして設けられた可撓性の梁部材と、前記梁部材の底面に接し、前記梁部材の先端から前記梁部材が延びている方向と同一の方向に延びている絶縁性部材と、前記絶縁性部材の前記基板と対向する面において、少なくとも前記ギャップと対向する位置に設けられた接触電極と、前記梁部材の一部と対向して前記基板上において設けられた下部電極と、前記下部電極と対向して前記絶縁性部材に設けられた中間電極と、前記接触電極が設けられた面とは反対側の面において、前記接触電極と対向して前記絶縁性部材上に設けられた補強

部材と、を備えたことを特徴とするマイクロマシンスイッチを提供する。

例えば、前記補強部材はシリコンから構成することができる。

上記のマイクロマシンスイッチにおいても、前記支持部材と前記梁部材の少なくとも一部とは同一の導電性部材からなる一体構造であることが好ましい。

また、前記梁部材は少なくとも２つ以上の片持ちアームを有するものであることが好ましい。

前記梁部材は前記絶縁性部材上において一体に成形されている上部電極をさらに備えることが好ましい。

前記上部電極及び前記絶縁性部材には前記下部電極に通じる貫通孔が形成されていることが好ましい。

前記補強部材、前記絶縁性部材及び前記接触電極を貫通する貫通孔が形成されていることが好ましい。

本マイクロマシンスイッチは、前記基板上に設けられ、かつ、前記基板の表面に対して所定の高さを有する少なくとも一つの第二の支持部材をさらに備えていることが好ましく、前記第二の支持部材は、前記第二の支持部材から前記基板の表面に対して略水平に突出した第二の梁部材を介して、底面において、前記絶縁性部材と接続しているものであることが好ましい。

本マイクロマシンスイッチは、前記第二の梁部材の一部と対向して前記基板上において設けられた第二の下部電極と、前記第二の下部電極と対向して前記絶縁性部材に設けられた第二の中間電極と、をさらに備えることが好ましい。

本発明は、基板上に設けられた第１の信号線と、前記基板上に設けられ、かつ、前記第１の信号線の端部から所定のギャップを隔てて位置する端部を有する第２の信号線との間の導通／非導通を制御するマイクロマシンスイッチにおいて、前記基板上に設けられ、かつ、前記基板の表面に対して所定の高さを有する支持部材と、前記支持部材から前記基板の表面に対して略水平に突出し、かつ、一部が前記ギャップと対向するようにして設けられた可撓性の梁部材と、前記梁部材の底面と同一平面をなす底面を有し、前記梁部材の先端から前記梁部材が延びている方向と同一の方向に延びている第一の絶縁性部材と、前記第一の絶縁性部材の前記基板と対向する面において、少なくとも前記ギャップと対向する位置に設

けられた接触電極と、前記梁部材の一部と対向して前記基板上において設けられた下部電極と、前記下部電極に対向して前記梁部材の底面に設けられた中間電極と、前記接触電極が設けられた面とは反対側の面において、前記接触電極と対向して前記第一の絶縁性部材の表面に設けられた補強部材と、を備えたことを特徴とするマイクロマシンスイッチを提供する。

前記第一の絶縁性部材は前記梁部材と同一の半導体材料からなるものであることが好ましい。

前記第一の絶縁性部材は前記支持部材及び前記梁部材の抵抗よりも高い抵抗を有するものであることが好ましい。

本マイクロマシンスイッチは、前記下部電極に対向するように、前記梁部材の底面に設けられた第二の絶縁性部材をさらに備えていることが好ましく、この場合、前記中間電極は前記第二の絶縁性部材の底面に設けられる。

前記第二の絶縁性部材は前記接触電極の厚さよりも小さい厚さを有するものであることが好ましい。

本マイクロマシンスイッチは、前記基板上に設けられ、かつ、前記基板の表面に対して所定の高さを有する少なくとも一つの第二の支持部材をさらに備えていることが好ましく、この場合、前記第二の支持部材は、前記第二の支持部材から前記基板の表面に対して略水平に突出した第二の梁部材を介して前記第一の絶縁性部材と接続しているものであることが好ましい。

本マイクロマシンスイッチは、前記第二の梁部材の一部と対向して前記基板上において設けられた第二の下部電極と、前記第二の下部電極と対向して前記第二の梁部材に設けられた第二の中間電極と、をさらに備えることが好ましい。

本マイクロマシンスイッチは、前記第二の下部電極に対向するように、前記第二の梁部材の底面に設けられた第三の絶縁性部材をさらに備えることが好ましく、この場合、前記第二の中間電極は前記第三の絶縁性部材の底面に設けられていることが好ましい。

本発明は、基板上に設けられた第1の信号線と、前記基板上に設けられ、かつ、前記第1の信号線の端部から所定のギャップを隔てて位置する端部を有する第2の信号線との間の導通／非導通を制御するマイクロマシンスイッチにおいて、

前記基板上に設けられ、かつ、前記基板の表面に対して所定の高さを有する支持部材と、前記支持部材から前記基板の表面に対して略水平に突出し、かつ、一部が前記ギャップと対向するようにして設けられた可撓性の梁部材と、前記梁部材の底面に接し、前記梁部材の先端から前記梁部材が延びている方向と同一の方向に延びている第一の絶縁性部材と、前記第一の絶縁性部材の前記基板と対向する面において、少なくとも前記ギャップと対向する位置に設けられた接触電極と、前記梁部材の一部と対向して前記基板上において設けられた下部電極と、前記下部電極と対向して前記第一の絶縁性部材に設けられ、かつ、前記梁部材と電氣的に短絡している中間電極と、前記接触電極が設けられた面とは反対側の面において、前記接触電極と対向して前記第一の絶縁性部材上に設けられた補強部材と、を備えたことを特徴とするマイクロマシンスイッチを提供する。

前記第一の絶縁性部材には開口が形成され、前記開口の内部には導体が埋め込まれており、前記中間電極と前記梁部材とは前記導体を介して電氣的に短絡していることが好ましい。

本マイクロマシンスイッチは、前記中間電極及び前記下部電極の少なくとも一方の少なくとも一部を覆う第一の絶縁膜をさらに備えることが好ましい。

本マイクロマシンスイッチは、前記接触電極並びに前記第1及び第2の信号線の少なくとも一方の少なくとも一部を覆う第二の絶縁膜をさらに備えることが好ましい。

前記第一の絶縁膜は前記中間電極の少なくとも一部を覆っており、前記中間電極の厚さと前記第一の絶縁膜の厚さとの和は前記接触電極の厚さよりも小さいことが好ましい。

前記第二の絶縁膜は前記接触電極の少なくとも一部を覆っており、前記接触電極の厚さと前記第二の絶縁膜の厚さとの和は前記中間電極の厚さよりも大きいことが好ましい。

上述のマイクロマシンスイッチにおいては、前記下部電極は、前記支持部材と前記ギャップとの間において、前記基板上に設けられていることが好ましい。

前記導電性部材は、例えば、半導体材料からなるものとすることができる。

前記半導体材料としては、単結晶の半導体、アモルファス半導体または多結晶

半導体を選択することができる。

前記支持部材と前記梁部材とはそれらの表面が鈍角をなして接続されていることが好ましい。

前記中間電極は前記接触電極よりも小さい厚みを有していることが好ましい。

前記接触電極並びに前記第1及び第2の信号線の少なくとも一方は、容量接続可能な絶縁体膜によって覆われていることが好ましい。

前記基板としては、ガラス基板、セラミック基板又はガリウムヒ素基板を選択することができる。

例えば、前記中間電極は前記上部電極と電氣的に短絡され、かつ、前記上部電極は電氣的に浮遊した状態にあるものとすることができる。

前記下部電極は、前記上部電極と向かい合う面積が互いに等しい複数の電極によって構成することができる。

前記上部電極は、前記下部電極と向かい合う面積が互いに等しい複数の電極によって構成することができる。

前記上部電極及び前記下部電極の両者は、互いに向かい合う面積が等しい複数の電極によって構成することができる。

前記複数の電極によって構成される上部電極または下部電極は櫛歯状の電極として構成することが好ましい。

前記支持部材及び前記梁部材の表面は絶縁膜で覆われていることが好ましい。

前記梁部材はシリコンからなり、前記絶縁膜は前記梁部材の表面酸化膜からなるものであることが好ましい。

前記絶縁膜の前記梁部材の表面上における厚さと前記梁部材の底面上における厚さとは等しいものとすることが好ましい。

前記梁部材は、例えば、2種以上の材料からなる薄膜を交互に積層してなる超格子構造を有するものとして構成することができる。

上記のマイクロマシンスイッチの一つの用途として、フェーズドアレイアンテナ装置における使用が挙げられる。このため、本発明は、上記のマイクロマシンスイッチを使用したフェーズドアレイアンテナ装置をも提供する。

具体的には、本発明は、各ビット毎にマイクロマシンスイッチを備える少なく

とも一つの移相器を備えたフェーズドアレイアンテナ装置であって、前記マイクロマシンスイッチは請求の範囲第1項乃至第24項の何れか一項に記載のマイクロマシンスイッチであることを特徴とするフェーズドアレイアンテナ装置を提供する。

また、本発明は、 $M$ 個（ $M$ は2以上の自然数）のアンテナと、データ分配回路と、前記データ分配回路に接続された $M$ 個のデータラッチ回路と、それぞれが対応する前記データラッチ回路及び前記アンテナに接続している $M$ 個の $N$ ビット（ $N$ は自然数）の移相器と、前記移相器の各々に給電を行う給電器と、前記データラッチ回路の各々及び前記データ分配回路に接続されている制御装置と、からなるフェーズアレイアンテナ装置であって、前記移相器の各々はビット毎にマイクロマシンスイッチを備えており、前記データラッチ回路の各々は各移相器の前記マイクロマシンスイッチに接続されており、前記制御装置は、予め設定されている前記アンテナの位置と、使用する周波数とに基づいて、放射ビームを所望の方向に向けるのに最適な位相量を $N$ ビットの精度で計算し、その計算結果を前記データ分配回路を介して前記データラッチ回路の各々に分配し、前記移相器の各々は、前記移相器が必要とするビットのマイクロマシンスイッチに対して駆動電圧を印加し、その移相器の位相量を設定し、設定された位相量に応じて高周波信号の位相を変え、前記アンテナの各々に給電するものであり、前記マイクロマシンスイッチは上述のマイクロマシンスイッチを用いるものであるフェーズアレイアンテナ装置を提供する。

本発明は、上述のマイクロマシンスイッチを製造する方法をも提供する。

具体的には、本発明は、基板上の第一の領域以外の領域をエッチングし、前記第一の領域を凸部として残す第一の過程と、前記第一の領域と、前記第一の領域とは異なる領域である前記基板上の第二の領域とに不純物を拡散させる第二の過程と、前記第一の領域と前記第二の領域とを結ぶ第三の領域に不純物を拡散させる第三の過程と、前記第二の領域上に絶縁性部材を設ける第四の過程と、前記第二の領域の上方において前記絶縁性部材上に第一の電極及び第二の電極を形成する第五の過程と、第二の基板上に第三の電極と一对の信号線とを形成する第六の過程と、前記第一の電極が前記一对の信号線に対向し、かつ、前記第二の電極が

前記第三の電極に対向するように、前記基板の前記第一の領域の上面を前記第二の基板に接着させる第七の過程と、前記不純物を拡散させた領域以外の前記基板の領域を除去する第八の過程と、からなるマイクロマシンスイッチの製造方法を提供する。

また、本発明は、基板上の第一及び第二の領域以外の領域をエッチングし、前記第一及び第二の領域を凸部として残す第一の過程と、前記第一及び第二の領域と、前記第一と第二の領域との間に位置する領域である前記基板上の第三の領域とに不純物を拡散させる第二の過程と、前記第一の領域と前記第三の領域とを結ぶ第四の領域及び前記第二の領域と前記第三の領域とを結ぶ第五の領域に不純物を拡散させる第三の過程と、前記第三の領域上に絶縁性部材を設ける第四の過程と、前記第三の領域の上方において前記絶縁性部材上に第一の電極及び第二の電極を形成する第五の過程と、第二の基板上に第三の電極と一对の信号線とを形成する第六の過程と、前記第一の電極が前記一对の信号線に対向し、かつ、前記第二の電極が前記第三の電極に対向するように、前記基板の前記第一及び第二の領域の双方の上面を前記第二の基板に接着させる第七の過程と、前記不純物を拡散させた領域以外の前記基板の領域を除去する第八の過程と、からなるマイクロマシンスイッチの製造方法を提供する。

また、本発明は、基板上の第一の領域以外の領域をエッチングし、前記第一の領域を凸部として残す第一の過程と、前記第一の領域と、第三の領域と、前記第一の領域と前記第三の領域との間に位置する第二の領域とに不純物を拡散させる第二の過程と、前記第一の領域と前記第二の領域とを結ぶ第四の領域に不純物を拡散させる第三の過程と、前記基板上において、前記第二の領域から前記第三の領域にわたる絶縁性部材を設ける第四の過程と、前記第三の領域の上方において前記絶縁性部材上に第一の電極を形成し、前記第二の領域の上方において前記絶縁性部材上に第二の電極を形成する第五の過程と、第二の基板上に第三の電極と一对の信号線とを形成する第六の過程と、前記第一の電極が前記一对の信号線に対向し、かつ、前記第二の電極が前記第三の電極に対向するように、前記基板の前記第一の領域の上面を前記第二の基板に接着させる第七の過程と、前記不純物を拡散させた領域以外の前記基板の領域を除去する第八の過程と、からなるマイ



クロマシンスイッチの製造方法を提供する。

また、本方法は、前記第二の領域に達する貫通孔を前記絶縁性部材に形成する過程と、前記貫通孔に導電体を埋め込み、前記第二の電極が前記導電体を介して前記第二の領域と電氣的に短絡するようにする過程と、をさらに備えることが好ましい。

また、本方法は、前記第一の電極及び前記第二の電極を絶縁体で覆う過程をさらに備えることが好ましい。

また、本発明は、基板上の第一及び第二の領域以外の領域をエッチングし、前記第一及び第二の領域を凸部として残す第一の過程と、前記第一及び第二の領域と、前記第一の領域と前記第二の領域との間に位置する第三の領域と、前記第二の領域と前記第三の領域との間に位置する第四の領域と、前記第二の領域と前記第四の領域との間に位置する第五の領域とに不純物を拡散させる第二の過程と、前記第一の領域と前記第三の領域とを結ぶ第六の領域と、前記第二の領域と前記第五の領域とを結ぶ第七の領域とに不純物を拡散させる第三の過程と、前記基板上において、前記第三の領域から前記第五の領域にわたる絶縁性部材を設ける第四の過程と、前記第三の領域の上方において前記絶縁性部材上に第一の電極を形成し、前記第四の領域の上方において前記絶縁性部材上に第二の電極を形成し、前記第五の領域の上方において前記絶縁性部材上に第三の電極を形成する第五の過程と、第二の基板上に、第四の電極と、第五の電極と、一对の信号線とを形成する第六の過程と、前記第二の電極が前記一对の信号線に対向し、前記第一の電極が前記第四の電極に対向し、かつ、前記第三の電極が前記第五の電極に対向するように、前記基板の前記第一及び第二の領域の上面を前記第二の基板に接着させる第七の過程と、前記不純物を拡散させた領域以外の前記基板の領域を除去する第八の過程と、からなるマイクロマシンスイッチの製造方法を提供する。

本方法は、前記第三の領域に達する第一の貫通孔及び前記第四の領域に達する第二の貫通孔を前記絶縁性部材に形成する過程と、前記第一及び第二の貫通孔にそれぞれ導電体を埋め込み、前記第一の電極が前記導電体を介して前記第三の領域と電氣的に短絡し、前記第二の電極が前記導電体を介して前記第四の領域と電氣的に短絡するようにする過程と、をさらに備えることが好ましい。

また、本方法は、前記第一の電極、前記第二の電極及び前記第三の電極を絶縁体で覆う過程をさらに備えることが好ましい。

また、本発明は、基板上の第一の領域以外の領域をエッチングし、前記第一の領域を凸部として残す第一の過程と、前記第一の領域と、第三の領域と、前記第一の領域と前記第三の領域との間に位置する第二の領域とに不純物を拡散させる第二の過程と、前記第一の領域と前記第二の領域とを結ぶ第四の領域に不純物を拡散させる第三の過程と、前記第二の領域と前記第三の領域とを結ぶ第五の領域をエッチングし、前記第五の領域に溝を形成する第四の過程と、前記溝に絶縁体を埋め込む第五の過程と、前記第二の領域上に絶縁性部材を形成する第六の過程と、前記第三の領域の上方において前記絶縁体上に第一の電極を形成し、前記第二の領域の上方において前記絶縁性部材上に第二の電極を形成する第七の過程と、第二の基板上に第三の電極と一对の信号線とを形成する第八の過程と、前記第一の電極が前記一对の信号線に対向し、かつ、前記第二の電極が前記第三の電極に対向するように、前記基板の前記第一の領域の上面を前記第二の基板に接着させる第九の過程と、前記不純物を拡散させた領域以外の前記基板の領域を除去する第十の過程と、からなるマイクロマシンスイッチの製造方法を提供する。

また、本発明は、基板上の第一及び第二の領域以外の領域をエッチングし、前記第一及び第二の領域を凸部として残す第一の過程と、前記第一及び第二の領域と、前記第一の領域と前記第二の領域との間に位置する第三の領域と、前記第三の領域と前記第二の領域との間に位置する第四の領域と、前記第三の領域と前記第四の領域との間に位置する第五の領域とに不純物を拡散させる第二の過程と、前記第一の領域と前記第三の領域とを結ぶ第六の領域と、前記第二の領域と前記第四の領域とを結ぶ第七の領域とに不純物を拡散させる第三の過程と、前記第三の領域と前記第四の領域とを結ぶ第八の領域をエッチングし、前記第八の領域に溝を形成する第四の過程と、前記溝に絶縁体を埋め込む第五の過程と、前記第三の領域上に第一の絶縁性部材を形成し、前記第四の領域上に第二の絶縁性部材を形成する第六の過程と、前記第五の領域の上方において前記絶縁体上に第一の電極を形成し、前記第三の領域の上方において前記第一の絶縁性部材上に第二の電極を形成し、前記第四の領域の上方において前記第二の絶縁性部材上に第三の電

極を形成する第七の過程と、第二の基板上に第四及び第五の電極と一対の信号線とを形成する第八の過程と、前記第一の電極が前記一対の信号線に対向し、前記第二の電極が前記第四の電極に対向し、かつ、前記第三の電極が前記第五の電極に対向するように、前記基板の前記第一及び第二の領域の上面を前記第二の基板に接着させる第九の過程と、前記不純物を拡散させた領域以外の前記基板の領域を除去する第十の過程と、からなるマイクロマシンスイッチの製造方法を提供する。

例えば、前記基板がシリコンからなり、前記第二の基板がガラスからなるものである場合には、前記基板は前記第二の基板に静電接着により接着されることが好ましい。

前記第二の基板がセラミック又はガリウムヒ素からなるものである場合には、前記基板は前記第二の基板に接着剤を介して接着されることが好ましい。

前記第二の基板がセラミック又はガリウムヒ素からなるものである場合には、本方法は、前記第二の基板の表面にガラス薄膜を形成する過程をさらに備えることが好ましく、この場合、前記基板は前記第二の基板に静電接着により接着されるものであることが好ましい。

前記基板の領域を除去する過程は、前記不純物の濃度選択性が大きいエッチング液に前記基板を投入し、前記不純物が拡散していない領域を溶解するものとすることができる。

以上のように、本発明は、中間電極を設け、上部電極と下部電極との間の距離を実質的に短くすることによって、スイッチの駆動電圧を低減させるものである。

例えば、接触電極と同じ厚さの中間電極を絶縁体膜を挟んで上部電極の下側に設ける場合を想定する。この中間電極は外部の電圧回路と直接接続されていないものとする。

上部電極と下部電極との間に電圧（V）を印加したときには、中間電極の電位は以下の式から計算される。

$$V \cdot C_1 / (C_1 + C_2)$$

ここで、 $C_1$ は中間電極と上部電極との間の静電容量を、 $C_2$ は中間電極と下

部電極との間の静電容量をそれぞれ表す。 $C_1$ は $C_2$ よりも大きいので、中間電極の電位はほぼ上部電極と等しい値となる。

この中間電極を図20に示した従来のマイクロマシンスイッチの場合と比較すると、中間電極と下部電極との間の距離は、接触電極と信号線との間の距離の $4\mu\text{m}$ に等しい。このとき、電圧を印加する電極の距離が実質的に $2/3$  ( $=4[\mu\text{m}]/6[\mu\text{m}]$ )に減少するため、必要とされる電圧も約 $67\text{V}$  ( $100 \times 2/3$ )になり、従来のマイクロマシンスイッチにおいて必要とされる電圧の $2/3$ に減少させることが可能となる。

さらに、この中間電極は接触電極と同時に作製することができるため、デバイスの製造コストを少しも上昇させることなく、作製することができる。

中間電極の構造は、以下の実施例において詳しく述べるように種々の変更が可能である。

以上のように、本発明は、従来よりも低い印加電圧でマイクロマシンスイッチを駆動させることができるとともに、絶縁体膜の耐压特性を上昇させることによって、デバイス特性を改善することができる。

#### 図面の簡単な説明

図1は、本発明の第1の実施例に係るマイクロマシンスイッチの平面図(a)およびそのA-A'線における断面図(b)である。

図2は、図1に示した第1の実施例に係るマイクロマシンスイッチの製造工程を示す断面図である。

図3は、図2に続く製造工程を示す断面図である。

図4は、本発明の第2の実施例に係るマイクロマシンスイッチの平面図(a)およびそのB-B'線における断面図(b)である。

図5は、図4に示した第2の実施例に係るマイクロマシンスイッチの製造工程を示す断面図である。

図6は、図5に続く製造工程を示す断面図である。

図7は、本発明の第3の実施例に係るマイクロマシンスイッチの平面図(a)およびそのC-C'線における断面図(b)である。

図 8 は、図 7 に示した第 3 の実施例に係るマイクロマシンスイッチの製造工程を示す断面図である。

図 9 は、図 8 に続く製造工程を示す断面図である。

図 10 は、本発明の第 4 の実施例に係るマイクロマシンスイッチの断面図である。

図 11 は、本発明の第 5 の実施例に係るマイクロマシンスイッチの断面図である。

図 12 は、本発明の第 6 の実施例に係るマイクロマシンスイッチの部分的断面図である。

図 13 は、本発明の第 7 の実施例に係るマイクロマシンスイッチの平面図 (a) およびその D-D' 線における断面図 (b) である。

図 14 は、本発明の第 8 の実施例に係るマイクロマシンスイッチの平面図である。

図 15 は、本発明の第 9 の実施例に係るマイクロマシンスイッチの平面図である。

図 16 は、本発明の第 10 の実施例に係るフェーズドアレイアンテナ装置のブロック図である。

図 17 は、図 16 に示したフェーズドアレイアンテナ装置の構成を示す分解斜視図である。

図 18 は、図 16 に示したフェーズドアレイアンテナ装置における移相回路の平面図である。

図 19 は、図 18 に示した移相回路におけるマイクロマシンスイッチの周辺を示す平面図である。

図 20 は、従来のマイクロマシンスイッチの平面図 (a) およびその E-E' 線における断面図 (b) である。

#### 好ましい実施例の詳細な説明

次に、本発明の実施例について図を用いて説明する。

##### [第 1 の実施例]

図1は、本発明の第1の実施例に係るマイクロマシンスイッチの平面図(a)およびそのA-A'線における断面図(b)である。

同図に示すように、本実施例においては、誘電率の大きなガラス製の基板1の表面上に、シリコンからなるスイッチ本体部14と、金からなる下部電極4と、金からなる一対の信号線3A、3Bが設けられている。また、基板1の裏面にはアース板2が形成されている。

スイッチ本体部14は、支持部材7と、支持部材7から延びる片持ちアーム8と、片持ちアーム8の先端において片持ちアーム8と接続されている上部電極9との一体構造となっている。

支持部材7からは、シリコンからなる二本の片持ちアーム8が基板面に対してほぼ水平に延びている。二本の片持ちアーム8は、従来のマイクロマシンスイッチにおける一本の片持ちアーム55(図20参照)と比べて、片持ちアームの回転運動を低く抑えることができ、スイッチの片当たり接触を防止することができる。

ただし、片持ちアーム8の本数は各条件に応じて設定され、本実施例のように2本に限定されるものではない。すなわち、本発明は、1本及び2本以上の片持ちアーム8を有するマイクロマシンスイッチを含むものである。

本実施例においては、支持部材7と片持ちアーム8とが、その接続部分における表面において、なす角度 $\alpha$ 、 $\beta$ が、それぞれ鈍角( $90^\circ < \alpha, \beta < 180^\circ$ )となるように調整されている。このように、角度 $\alpha$ 、 $\beta$ を鈍角に設定することにより、片持ちアーム8の強度を高めることができ、1MHz以上の高周波数の交流電流に対するスイッチング動作を可能とする。

片持ちアーム8の先端には、シリコンからなる上部電極9が設けられている。上部電極9は、下部電極4と空間的な隙間を介して対向している。

支持部材7は、基板1上に形成されている信号線3aに接続されており、この信号線3aは、支持部材7および片持ちアーム8を介して、上部電極9に電氣的に接続されている。

また、二酸化シリコンあるいは窒化シリコン膜その他の絶縁体膜からなる絶縁性部材6が、上部電極9の下面において、下部電極4と対向する位置から信号線

3 A、3 Bに対向する位置にかけて、設けられている。

絶縁性部材6の下面には、信号線3 A、3 Bに対向して、金からなる接触電極5が設けられている。さらに、下部電極4に対向して、絶縁性部材6の下面には、中間電極15が設けられている。

このように絶縁性部材6を設けることにより、接触電極5と上部電極9との短絡を防止することができる。本実施例においては、絶縁性部材6は中間電極15から接触電極5にかけて設けられているが、絶縁性部材6は、最低限、接触電極5と上部電極9との間、および、中間電極15と上部電極9との間に設けられていれば足りる。

なお、高周波信号をスイッチングする場合には、信号線3 A、3 Bと容量結合可能な範囲内において、接触電極5の表面を絶縁体膜で覆うことが好ましい。あるいは、接触電極5に代えて、信号線3 A、3 Bを絶縁体膜で覆ってもよい。あるいは、信号線3 A、3 Bと接触電極5の双方を絶縁体膜で覆ってもよい。

このように、接触電極5に対向する絶縁性部材6の表面上には、片持ちアーム8よりも厚い上部電極9が設けられているため、接触電極5と絶縁性部材6との間に生じる歪みによる反りを小さく抑えることができる。従って、接触電極5は常に基板1に対して平行な状態を保つことができ、接触電極5の片当たりによる接触抵抗の増大を抑えることができる。

以下、本実施例に係るマイクロマシンスイッチの動作について説明する。

信号線3 aを介して上部電極9と下部電極4との間に70 Vの電圧が印加されると、静電気力により、上部電極9に基板1に向かって下向きに引力が働く。このため、片持ちアーム8が支持部材7を支点として下側に湾曲し、接触電極5が信号線3 A、3 Bと接触する。

信号線3 A、3 Bの間には、図1 (b)に示すように、接触電極5に対向する位置において、隙間が設けられている。このため、上部電極9と下部電極4との間に電圧が印加されない状態では信号線3 A、3 Bの間に電流は流れないが、電圧が印加されて接触電極5が信号線3 A、3 Bと接触した状態では信号線3 A、3 Bの間を電流が流れる。

このように、上部電極9と下部電極4との間への電圧の印加及び印加解除によ

って、信号線 3 A、3 B を通る電流あるいは信号のオン／オフを制御することができる。

なお、本発明の発明者が行った実験によれば、周波数 30 GHz の信号を扱った場合、従来の HEMT (High Electron Mobility Transistor) スイッチにおける挿入損失が 3 乃至 4 dB であったのに対して、本実施例に係るマイクロマシンスイッチによれば、挿入損失が 2.5 dB という結果が得られた。

以上のように、本実施例においては、上部電極 9 は、導電性材料からなる片持ちアーム 8 を介して、導電性材料からなる支持部材 7 と電氣的に接続されているため、上部電極 9 への電圧印加を容易に行うことができる。

ただし、上部電極 9 は電氣的に浮遊した状態にすることもできる。その場合、信号線 3 a を設けることは不要であり、本実施例に係るマイクロマシンスイッチを動作させるためには、下部電極 4 に電圧を印加するだけでよい。

また、支持部材 7 と片持ちアーム 8 と上部電極 9 とを、不純物が一部あるいは全体に拡散された半導体で作製することができる。その場合、マイクロマシンスイッチの動作時において上部電極 9 と下部電極 4 との間に流れる電流は極めて小さいので、これら半導体の不純物の含有量を精密に制御する必要はない。

また、以下の作製方法に述べるように、片持ちアーム 8 の厚さを他の構成要素に比べて薄く制御することも容易である。このように、個々の構成要素の厚さを制御することによって、剛性の大きな構成要素の中において、柔軟性のある片持ちアーム 8 を作製することができる。したがって、剛性の大きな構成要素における電圧印加時の変形は基板 1 に対して水平面内において行われ、鉛直方向における変形のほとんどが厚さの薄い片持ちアーム 8 においてなされることになる。これは、接触電極 5 の信号線 3 A、3 B に対する片当たりを小さく抑えることに役立つものである。

ただし、上部電極 9 の厚さは片持ちアーム 8 の厚さと等しく設定することも可能である。双方の厚さを等しくすることにより、スイッチ本体部 14 の作製方法を簡略化することができる。

なお、本実施例に係るマイクロマシンスイッチの各構成要素の代表的な寸法は



表 1 のとおりである。

(表 1)

	幅 (縦方向)	長さ (横方向)	厚さ
片持ちアーム 8	1 0 $\mu\text{m}$	1 3 0 $\mu\text{m}$	3 $\mu\text{m}$
上部電極 9	1 0 0 $\mu\text{m}$	2 0 0 $\mu\text{m}$	1 0 $\mu\text{m}$
接触電極 5	7 0 $\mu\text{m}$	1 0 $\mu\text{m}$	2 $\mu\text{m}$
中間電極 1 5	9 0 $\mu\text{m}$	4 0 $\mu\text{m}$	2 $\mu\text{m}$

ここで、「幅」は図 1 (a) の平面図における縦方向の長さ、「長さ」は図 1 (a) の平面図における横方向の長さ、「厚さ」は図 1 (b) の断面図における縦方向の長さをそれぞれ示す。

また、中間電極 1 5 と下部電極 4 との間の距離は 4  $\mu\text{m}$  に設定されている。

ただし、これらの寸法は個々の仕様に応じて設計すべきものであり、表 1 の数値に限定されるものではない。

本実施例によれば、その増大した設計自由度により、広い範囲において設計を行うことが可能である。例えば、中間電極 1 5 の厚さを接触電極 5 よりも少し薄く設計すると、接触電極 5 と信号線 3 A、3 B との間の接触力が大きくなり、両者の接触抵抗が減少する。これは、特に、DC 信号をオン／オフするスイッチに適している。

また、中間電極 1 5 の厚さを接触電極 5 よりも少し厚く設計すると、接触電極 5 は、スイッチのオンのときでも、信号線 3 A、3 B と直接接触することがなくなる。

ただし、高周波応用においては、抵抗接触は必ずしも必要でなく、容量型の接触でも信号を伝えることが可能であるため、接触電極 5 が信号線 3 A、3 B に直接接触れることは必ずしも必要ではない。接触電極 5 が信号線 3 A、3 B に直接接触れないような場合には、接触電極 5 及び信号線 3 A、3 B の機械的な摩耗を低く抑えることが可能であり、マイクロマシンスイッチの寿命を長く保つことができるという利点がある。

さらに、上記においては、マイクロマシンスイッチの駆動方法として、上部電

極 9 に電氣的に短絡した支持部材 7 と下部電極 4 との間に電圧を印加する例を示したが、支持部材 7 の電位を固定することは必ずしも必要ではない。下部電極 4 だけに電圧を印加しても、マイクロマシンスイッチの動作は可能である。

この場合、支持部材 7 (すなわち、上部電極 9) の電位は、固定されずに浮遊状態にある。このような状態では、通常、上部電極 9 は周囲の電位に影響された電圧となり、周囲にグランド線を配置することによって、グランド電圧に近い状態とすることが可能である。なお、グランド線の配置は、一般的には、スイッチ本体部 1 4 の近傍に設けられる。

このように、支持部材 7 の電位を浮遊させた場合、支持部材 7 に接続する配線を設ける必要がなくなるため、全体としてデバイスの配線が簡略化されるという利点がある。

次いで、図 1 に示した第 1 の実施例に係るマイクロマシンスイッチの製造方法を説明する。

図 2 及び図 3 は、図 1 に示した第 1 の実施例に係るマイクロマシンスイッチの製造工程を示す断面図である。以下に、製造工程について順次説明する。

まず、図 2 (a) に示すように、シリコン基板 1 1 に二酸化シリコン膜からなるパターン 1 2 を形成し、エッチング液として水酸化テトラメチルアンモニウム (TMAH) を用い、シリコン基板 1 1 を約  $6\text{ }\mu\text{m}$  ほどエッチングする。

ここで、シリコン基板 1 1 として (100) 面を主面とするシリコンを用いた場合、エッチング速度の面方位依存性により、エッチング後においては、(111) 面が側面に露出した台形の凸部が形成される。

次いで、図 2 (b) に示すように、新たにパターン 1 3 をシリコン基板 1 1 上に形成し、このパターン 1 3 をマスクにして、マスクされていない領域にボロンを拡散させる。その後、ボロンを深く拡散させるため、例えば、 $1150^{\circ}\text{C}$  で 10 時間ほど熱拡散を実施する。これにより、高濃度のボロンが約  $10\text{ }\mu\text{m}$  の深さまで拡散される。その結果、支持部材 7 と上部電極 9 とが作製される。

次いで、図 2 (c) に示すように、片持ちアーム 8 に対応する領域のパターン 1 3 を除去し、残ったパターン 1 3 をマスクにして、マスクされていない領域にボロンを拡散させる。その結果、支持部材 7、片持ちアーム 8 および上部電極 9

からなるスイッチ本体部 14 が形成される。

なお、今回はボロンの浅い拡散を行うため、例えば、1150℃で2時間ほど熱拡散を実施する。これにより、高濃度のボロンが約2  $\mu\text{m}$ の深さまで拡散される。

次いで、図2 (d) に示すように、上部電極9を覆うように、二酸化シリコン1  $\mu\text{m}$ および窒化膜0.05  $\mu\text{m}$ からなる絶縁性部材6をシリコン基板11上に形成する。

次いで、図3 (e) に示すように、絶縁性部材6上に金メッキを用いて接触電極5および中間電極15を作製する。接触電極5および中間電極15は上部電極9の上方に位置するように配置する。

次いで、図3 (f) に示すように、金からなる下部電極4および金からなる信号線3A、3B、3aが表面に形成されているガラス製の基板1を基板11とは別個に予め作製しておき、図2 (a) から図3 (e) に示した各工程により作製された基板11を上下に反転させ、ガラス基板1上に載置する。

その後、支持部材7をガラス基板1上に接着させる。このとき、シリコンからなる支持部材7とガラス基板1との接着には静電接着技術を利用することができる。

最後に、図3 (g) に示すように、基板11をエチレンジアミンピロカテコールその他のボロン濃度選択性が高いエッチング液に投入し、ボロンが拡散されていない部分を溶解する。その結果、ガラス基板1上には、支持部材7、片持ちアーム8及び上部電極9のみが残り、図1に示したようなマイクロマシンスイッチが作製される。

なお、基板1がセラミックあるいはガリウムヒ素で形成されている場合には、接着剤を用いて支持部材7とこれらの基板1とを接着させることも可能である。あるいは、これら基板1の表面に2乃至5  $\mu\text{m}$ 程度の厚さのガラス層をスパッタリングにより形成しておく、と、静電接着技術を使うことも可能である。

以上のように本実施例においては、単結晶シリコン基板1をエッチングすることによって、支持部材7、片持ちアーム8及び上部電極9からなるスイッチ本体部14を作製している。このように、本実施例は、材料として単結晶体を利用す

ることにより、機械特性として最も信頼性におけるスイッチ本体部 14 を作製することができるという利点がある。

また、片持ちアーム 8 を単結晶のみで作製しているため、従来のマイクロマシンスイッチにおける片持ちアームのように複数の材料を張り合わせた構造に比べ、熱膨張係数に起因する反りが発生することはない。すなわち、基板 1 の面に対して直交する方向における片持ちアーム 8 の熱膨張係数の変化を基板面側とその反対面側とで互いに対称にすることにより、片持ちアーム 8 における反りの発生を抑制している。

一方、本実施例において述べた方法以外の方法によっても、本実施例に係るマイクロマシンスイッチを作製することは可能である。例えば、基板 1 上に種々の薄膜を堆積し、選択エッチングを行うことにより、本実施例に係るマイクロマシンスイッチと同様の構造を有するマイクロマシンスイッチを作製することが可能である。

また、スイッチ本体部 14 を単結晶シリコンではなく、例えば、アモルファスシリコン、ポリシリコンまたは高抵抗の半導体材料（GaAs、鉄をドーピングした InP 等）を使って作製することもできる。

また、スイッチ本体部 14 を、半導体ではなく、金やアルミニウムその他の金属を使って作製することもできる。

#### [第 2 の実施例]

次に、本発明の第 2 の実施例に係るマイクロマシンスイッチについて図を参照して説明する。

図 4 は、本発明の第 2 の実施例に係るマイクロマシンスイッチの平面図 (a) およびその B-B' 線における断面図 (b) を示す。

同図に示すように、本実施例に係るマイクロマシンスイッチにおいては、誘電率の大きなガラス製の基板 1 上に、シリコンからなる支持部材 7 と、金からなる下部電極 4 と、金からなる信号線 3A、3B が設けられている。また、基板 1 の裏面にはアース板 2 が形成されている。

スイッチ本体部 14 は、支持部材 7 と、支持部材 7 から延びる片持ちアーム 8 と、片持ちアーム 8 の先端において片持ちアーム 8 と接続されている上部電極 9

との一体構造となっている。

支持部材 7 からは、シリコンからなる二本の片持ちアーム 8 が基板面に対してほぼ水平に延びている。片持ちアーム 8 の本数は各条件に応じて設定され、第 1 の実施例の場合と同様に、1 本及び 2 本以上の片持ちアーム 8 を設けることが可能である。

また、支持部材 7 と片持ちアーム 8 とがなす角度  $\alpha$ 、 $\beta$  はそれぞれ鈍角 ( $90^\circ < \alpha, \beta < 180^\circ$ ) となるように調整されている。このようにすることにより、片持ちアーム 8 の強度を高めることができ、1 MHz 以上の高周波数の交流電流に対するスイッチング動作を可能にする。

片持ちアーム 8 の先端には、シリコンからなる上部電極 9 が設けられている。上部電極 9 は、下部電極 4 と空間的な隙間を介して対向している。

支持部材 7 は、基板 1 上に形成されている信号線 3 a に接続されており、この信号線 3 a は、支持部材 7 および片持ちアーム 8 を介して、上部電極 9 に電氣的に接続されている。

また、二酸化シリコンあるいは窒化シリコン膜その他の絶縁体膜からなる絶縁性部材 6 が、上部電極 9 の下面から始まって信号線 3 A、3 B に対向する位置まで延びている。

絶縁性部材 6 の下面には、信号線 3 A、3 B に対向する位置において、金からなる接触電極 5 が設けられている。

同様に、絶縁性部材 6 の下面には、下部電極 4 と対向するようにして、中間電極 15 が設けられている。

なお、高周波信号をスイッチングする場合には、信号線 3 A、3 B と容量結合可能な範囲で接触電極 5 の表面を絶縁体膜で覆ってもよい。あるいは、信号線 3 A、3 B を絶縁体膜で覆ってもよく、接触電極 5 と信号線 3 A、3 B との双方を絶縁体膜で覆ってもよい。

絶縁性部材 6 の表面上には、接触電極 5 と対向して、シリコンからなる補強部材 10 が設けられている。この補強部材 10 は、接触電極 5 と絶縁性部材 6 との間に生じる歪みによる絶縁性部材 6 の反りを小さく抑えるために設けられたものである。このように、補強部材 10 を設けることにより、接触電極 5 は絶えず基

板 1 に対して平行な状態を保つことができ、接触電極 5 の信号線 3 A、3 B に対する片当たりによる接触抵抗の増大を抑えることができる。

なお、補強部材 10 を設けることは必ずしも必要ではなく、絶縁性部材 6 の材料や膜厚等によっては補強部材 10 を設ける必要がない場合もある。

以下、本実施例に係るマイクロマシンスイッチの動作について説明する。

上部電極 9 と下部電極 4 との間に 30 V の電圧を印加すると、静電気力により上部電極 9 に基板 1 に向かって下側方向に引力が働く。このため、片持ちアーム 8 が支持部材 7 を支点として下側に湾曲し、その結果、接触電極 5 が信号線 3 A、3 B と接触するようになる。

信号線 3 A、3 B の間には、図 4 (a) に示すように、接触電極 5 に対向する位置において、隙間が設けられている。このため、上部電極 9 と下部電極 4 との間に電圧が印加されない状態では信号線 3 A、3 B の間に電流は流れないが、上部電極 9 と下部電極 4 との間に電圧が印加されて接触電極 5 が信号線 3 A、3 B と接触した状態では信号線 3 A、3 B 間を電流が流れることができる。

このように、下部電極 4 への電圧印加又は印加解除に応じて、信号線 3 A、3 B を通る電流あるいは信号のオン／オフを制御することができる。

また、本発明の発明者が行った実験結果によると、30 GHz の信号を扱った場合、従来の HEMT スイッチにおける挿入損失が 3 乃至 4 dB であったのに対し、本実施例に係るマイクロマシンスイッチによれば、挿入損失が 0.2 dB という結果が得られた。

本実施例に係るマイクロマシンスイッチにおいては、上部電極 9 は導電性材料からなる片持ちアーム 8 を介して導電性材料からなる支持部材 7 と電氣的に接続されているため、上部電極 9 への電圧印加を容易に行うことができる。

ただし、上部電極 9 は電氣的に浮遊した状態であってもよい。その場合、信号線 3 a を設けることは不要であり、本実施例に係るマイクロマシンスイッチを動作させるためには下部電極 4 に電圧を印加するだけでよい。

また、支持部材 7 と片持ちアーム 8 と上部電極 9 と補強部材 10 とは、不純物が一部あるいは全体に拡散された半導体から作製することができる。その場合、マイクロマシンスイッチの動作時に上部電極 9 と下部電極 4 との間に流れる電流

は極めて小さなものであるので、これら半導体の不純物の含有量を精密に制御する必要はない。

また、以下の作製方法に述べるように、片持ちアーム 8 の厚さを他の構成要素に比べて薄く制御することも容易である。このように個々の構成要素の厚さを制御することによって、剛性の大きな構成要素の中において大きな柔軟性を有する片持ちアーム 8 を作製することができる。

したがって、剛性の大きな構成要素における電圧印加時の変形は基板 1 に対して水平面内において行われ、鉛直方向における変形のほとんどが厚さの薄い片持ちアーム 8 においてなされることになる。これは、接触電極 5 の信号線 3 A、3 B に対する片当たりを小さく抑えることに役立つものである。

ただし、上部電極 9 および補強部材 10 の厚さは片持ちアーム 8 の厚さと等しく設定することも可能である。双方の厚さを等しくすることにより、スイッチ本体部 14 の作製方法を簡略化することができる。

なお、本実施例に係るマイクロマシンスイッチの各構成要素の代表的な寸法は表 2 のとおりである。

(表 2)

	幅 (縦方向)	長さ (横方向)	厚さ
片持ちアーム 8	10 $\mu\text{m}$	130 $\mu\text{m}$	3 $\mu\text{m}$
上部電極 9	100 $\mu\text{m}$	50 $\mu\text{m}$	10 $\mu\text{m}$
接触電極 5	70 $\mu\text{m}$	10 $\mu\text{m}$	2 $\mu\text{m}$
中間電極 15	90 $\mu\text{m}$	40 $\mu\text{m}$	2 $\mu\text{m}$

ここで、「幅」は図 4 (a) の平面図における縦方向の長さ、「長さ」は図 4 (a) の平面図における横方向の長さ、「厚さ」は図 4 (b) の断面図における縦方向の長さをそれぞれ示す。

また、中間電極 15 と下部電極 4 との間の距離は 4  $\mu\text{m}$  に設定されている。

ただし、これらの寸法は個々の仕様に応じて設計すべきものであり、表 2 の数値に限定されるものではない。

本実施例によれば、その増大した設計自由度により、広い範囲において設計を

行うことが可能である。例えば、中間電極 15 の厚さを接触電極 5 よりも少し薄く設計すると、接触電極 5 と信号線 3 A、3 B との間の接触力が大きくなり、両者の接触抵抗が減少する。これは、特に、DC 信号をオン／オフするスイッチに適している。

また、中間電極 15 の厚さを接触電極 5 よりも少し厚く設計すると、接触電極 5 は、スイッチのオンのときでも、信号線 3 A、3 B と直接接触することがなくなる。

ただし、高周波応用においては、抵抗接触は必ずしも必要でなく、容量型の接触でも信号を伝えることが可能であるため、接触電極 5 が信号線 3 A、3 B に直接接触れることは必ずしも必要ではない。接触電極 5 が信号線 3 A、3 B に直接接触れないような場合には、接触電極 5 及び信号線 3 A、3 B の機械的な摩耗を低く抑えることが可能であり、マイクロマシンスイッチの寿命を長く保つことができるという利点がある。

さらに、本実施例においては、マイクロマシンスイッチの駆動方法として、上部電極 9 に電氣的に短絡した支持部材 7 と下部電極 4 との間に電圧を印加する例を示したが、支持部材 7 の電位を固定することは必ずしも必要ではない。下部電極 4 だけに電圧を印加しても、マイクロマシンスイッチの動作は可能である。

この場合、支持部材 7（すなわち、上部電極 9）の電位は、固定されずに浮遊状態にある。このような状態では、通常、上部電極 9 は周囲の電位に影響された電圧となり、周囲にグランド線を配置することによって、グランド電圧に近い状態とすることが可能である。なお、グランド線の配置は、一般的には、スイッチ本体部 14 の近傍に設けられる。

このように、支持部材 7 の電位を浮遊させた場合、支持部材 7 に接続する配線を設ける必要がなくなるため、全体としてデバイスの配線が簡略化されるという利点がある。

以下、図 4 に示した第 2 の実施例に係るマイクロマシンスイッチの製造方法を説明する。

図 5 及び図 6 は、図 4 に示した第 2 の実施例に係るマイクロマシンスイッチの製造工程を示す断面図である。以下、製造工程について順次説明する。



まず、図5 (a) に示すように、シリコンからなる基板11に二酸化シリコン膜からなるパターン12を形成し、エッチング液として水酸化テトラメチルアンモニウム (TMAH) を用い、基板11を約6  $\mu\text{m}$ ほどエッチングする。

ここで、基板11として、(100)面を主面とするシリコン基板を用いた場合、エッチング速度の面方位依存性により、エッチング後においては、(111)面が側面に露出した台形の凸部が形成される。

次いで、図5 (b) に示すように、新たにパターン13を基板11上に形成し、このパターン13をマスクにしてマスクで覆われていない領域にボロンを拡散させる。その後、ボロンを深く拡散させるため、例えば、1150℃で10時間ほど熱拡散を実施する。これにより、高濃度のボロンが約10  $\mu\text{m}$ の深さまで拡散される。その結果、支持部材7と上部電極9と補強部材10とが作製される。

次いで、図5 (c) に示すように、片持ちアーム8に対応する領域のパターン13を除去し、残ったパターン13をマスクにしてマスクで覆われていない領域にボロンを拡散させる。その結果、支持部材7、片持ちアーム8および上部電極9からなるスイッチ本体部14ができあがる。

なお、今回はボロンを浅く拡散させるため、例えば、1150℃で2時間ほど熱拡散を実施する。これにより、高濃度のボロンが約2  $\mu\text{m}$ の深さまで拡散される。

次いで、図5 (d) に示すように、基板11の表面上において、上部電極9から補強部材10にかけて、二酸化シリコン1  $\mu\text{m}$ および窒化膜0.05  $\mu\text{m}$ の積層膜からなる絶縁性部材6を作製する。

次いで、図6 (e) に示すように、補強部材10及び上部電極9の上方において絶縁性部材6上に金メッキを用いて接触電極5及び中間電極15をそれぞれ作製する。

次いで、図6 (f) に示すように、金からなる下部電極4および金からなる信号線3A、3B、3aが表面に形成されているガラス製の基板1を基板11とは別個に予め作製しておき、図5 (a) から図6 (e) に示した各工程により作製された基板11を上下に反転させ、ガラス基板1上に載置する。

その後、支持部材7をガラス基板1上に接着させる。このとき、シリコンから

なる支持部材 7 とガラス基板 1 との接着には静電接着技術を利用することができる。

最後に、図 6 (g) に示すように、基板 11 をエチレンジアミンピロカテコールその他のボロン濃度選択性が高いエッチング液に投入し、ボロンが拡散されていない部分を溶解する。その結果、ガラス基板 1 上には、支持部材 7、片持ちアーム 8、上部電極 9 及び補強部材 10 のみ残り、図 4 に示したようなマイクロマシンスイッチが作製される。

なお、基板 1 がセラミックあるいはガリウム砒素で形成されている場合には、接着剤を用いて支持部材 7 とこれらの基板 1 とを接着させることも可能である。もしくは、これら基板 1 の表面上に 2 乃至 5  $\mu\text{m}$  程度の厚さのガラス層をスパッタリングにより形成しておく、静電接着技術を使うことが可能である。

以上のように、本実施例においては、単結晶シリコン基板 11 をエッチングすることによって、支持部材 7、片持ちアーム 8、上部電極 9 及び補強部材 10 からなるスイッチ本体部 14 を作製している。このように、本実施例においては、材料として単結晶材料を利用することにより、機械特性として最も信頼性におけるスイッチ本体部 14 を作製することができるという利点がある。

また、片持ちアーム 8 を単結晶材料のみで作製しているため、従来のマイクロマシンスイッチにおける片持ちアームのように複数の材料を張り合わせた構造に比べ、熱膨張係数に起因する反りが発生することはない。すなわち、基板 1 の面に対して直交する方向における片持ちアーム 8 の熱膨張係数の変化を基板面側とその反対面側とで互いに対称とすることにより、片持ちアーム 8 における反りの発生を抑制することができる。

一方、本実施例において述べた方法以外の方法によっても、本実施例に係るマイクロマシンスイッチを作製することは可能である。例えば、基板 1 上に種々の薄膜を堆積し、選択エッチングを行うことにより、本実施例に係るマイクロマシンスイッチと同様の構造を有するマイクロマシンスイッチを作製することが可能である。

また、スイッチ本体部 14 および補強部材 10 を単結晶シリコンではなく、例えば、アモルファスシリコン、ポリシリコンまたは高抵抗の半導体材料 (GaAs)

s、鉄をドーピングしたInP等)を使って作製することもできる。

また、スイッチ本体部14および補強部材10を、半導体ではなく、金やアルミニウムその他の金属を使って作製することもできる。

### [第3の実施例]

図7は、本発明の第3の実施例に係るマイクロマシンスイッチの平面図(a)およびそのC-C'線における断面図(b)を示す。図7において、図4と同一符号の構成要素は同一または同等の構成要素であることを示している。

本実施例に係るマイクロマシンスイッチは、絶縁性部材6bが上部電極9の端面から延びている点が第2の実施例に係るマイクロマシンスイッチと大きく異なる点である。すなわち、図4に示した第2の実施例に係るマイクロマシンスイッチにおいては、絶縁性部材6は上部電極9の底面に接した状態で補強部材10に向かって延びているのに対して、図7に示した第3の実施例に係るマイクロマシンスイッチにおいては、絶縁性部材6bは上部電極9の底面と同一平面をなす底面を有し、補強部材10に向かって延びている。

絶縁性部材6bは、酸化膜、窒化膜その他の絶縁薄膜によって形成することもできるが、上部電極9と同一の半導体材料を使って形成することが可能である。その場合、例えば、支持部材7、片持ちアーム8および上部電極9を高抵抗の半導体材料(GaAs、鉄をドーピングしたInP等)で形成し、それらのみに不純物を拡散して抵抗を下げるという方法、または、絶縁性部材6bの領域に酸素等のイオンを打ち込んで抵抗を高くする方法を利用することができる。

本実施例に係るマイクロマシンスイッチにおいては、補強部材10を絶縁性部材6b上において接触電極5に対向する位置に設けているが、補強部材10を設けることは必ずしも必要ではない。

また、補強部材10は、低抵抗または高抵抗の何れであってもよい。

また、本実施例に係るマイクロマシンスイッチにおいては、上部電極9の底面に絶縁性部材6bとは別個に絶縁性部材6aが設けられている。この絶縁性部材6aは、上部電極9と下部電極4との間に電圧を印加したとき、互いに接触して短絡が起こらないようにするためのものである。

絶縁性部材6aの厚さは接触電極5よりも薄くすることが望ましい。

また、本実施例に係るマイクロマシンスイッチにおいては、第1の実施例と比較して、絶縁性部材6bが基板1に対して上側に位置するようになったため、接触電極5と信号線3A、3Bとの間の隙間を大きく取れるようになる。このため、スイッチオフ時の静電容量が小さくなり、スイッチオフ時の漏れ電流を小さく抑えることが可能となる。

以上の第1乃至第3の実施例においては、基板1の具体例としてガラス基板を用いた。ガラス基板はガリウムヒ素基板に比べて安価であり、多数のスイッチを集積化することが要求されるフェーズドアレイアンテナ等の応用において有望な材料である。しかしながら、本発明に係るマイクロマシンスイッチにおける基板1はガラス基板に限定されるものではなく、ガリウムヒ素基板、シリコン基板、セラミック基板、プリント基板その他の基板を用いることもできる。

また、上部電極9に穴を開けることにより、上部電極9と下部電極4との間に存在する空気によるスクイーズ効果を減少させることも可能である。

また、絶縁性部材6bに穴を開けることにより、空気の流通を促進させ、スクイーズ効果を減少させることも可能である。上記の第1乃至第3の実施例に係るマイクロマシンスイッチにおいては、上部電極9および補強部材10によって絶縁性部材6bの強度を補強することが容易である。このため、絶縁性部材6bに複数の穴を設けたとしても、可動部全体の剛性は十分に大きく保つことが可能である。

さらに、接触電極5および補強部材10にも穴をあけ、空気を通しやすくすることによって、スクイーズ効果を著しく抑えることが可能である。

以下、図7に示した第3の実施例に係るマイクロマシンスイッチの製造方法を説明する。

図8及び図9は、図7に示した第3の実施例に係るマイクロマシンスイッチの製造工程を示す断面図である。以下、製造工程について順次説明する。

まず、図8(a)に示すように、シリコンからなる基板11に二酸化シリコン膜からなるパターン12を形成し、エッチング液として水酸化テトラメチルアンモニウム(TMAH)を用い、基板11を約6 $\mu$ mほどエッチングする。

ここで、基板11として、(100)面を主面とするシリコン基板を用いた場

合、エッチング速度の面方位依存性により、エッチング後においては、パターン 12 の下部に、(111) 面が側面に露出した台形の凸部が形成される。

次いで、図 8 (b) に示すように、新たにパターン 13 を基板 11 上に形成し、このパターン 13 をマスクにして、マスクで覆われていない領域にボロンを拡散させる。その後、ボロンを深く拡散させるため、例えば、1150℃で10時間ほど熱拡散を実施する。これにより、高濃度のボロンが約10μmの深さまで拡散される。その結果、基板 11 内に支持部材 7 と上部電極 9 と補強部材 10 とが作製される。

次いで、図 8 (c) に示すように、片持ちアーム 8 に対応する領域のパターン 13 を除去し、残ったパターン 13 をマスクにしてマスクで覆われていない領域にボロンを拡散させる。その結果、支持部材 7、片持ちアーム 8 および上部電極 9 からなるスイッチ本体部 14 ができあがる。

なお、今回はボロンを浅く拡散させるため、例えば、1150℃で2時間ほど熱拡散を実施する。これにより、高濃度のボロンが約2μmの深さまで拡散される。

次いで、図 8 (d) に示すように、前面にレジスト膜 13a を形成し、フォトリソグラフィー及びエッチングにより、絶縁性部材 6b に対応する領域のみレジスト膜 13a を除去する。

次いで、図 9 (e) に示すように、レジスト膜 13a をマスクとして、基板 11 に酸素イオンを注入し、基板 11 内に絶縁性部材 6b を形成する。

次いで、図 9 (f) に示すように、レジスト膜 13a を除去した後、上部電極 9 上に絶縁性部材 6a を形成する。さらに、補強部材 10 の上方において、絶縁性部材 6b 上に金からなる接触電極 5 を形成し、同時に、上部電極 9 の上方において、絶縁性部材 6a 上に金からなる中間電極 15 を形成する。

次いで、図 9 (g) に示すように、金からなる下部電極 4 および金からなる信号線 3A、3B、3a が表面に形成されているガラス製の基板 1 を基板 11 とは別個に予め作製しておき、上記の各工程により作製された基板 11 を上下に反転させ、ガラス基板 1 上に載置する。

その後、支持部材 7 をガラス基板 1 上に接着させる。このとき、シリコンから

なる支持部材 7 とガラス基板 1 との接着には静電接着技術を利用することができる。

最後に、図 9 (h) に示すように、基板 11 をエチレンジアミンピロカテコールその他のボロン濃度選択性が高いエッチング液に投入し、ボロンが拡散されていない部分を溶解する。その結果、ガラス基板 1 上には、支持部材 7、片持ちアーム 8、上部電極 9 及び補強部材 10 のみが残し、図 7 に示したようなマイクロマシンスイッチが作製される。

なお、基板 1 がセラミックあるいはガリウム砒素で形成されている場合には、接着剤を用いて支持部材 7 とこれらの基板 1 とを接着させることも可能である。もしくは、これら基板 1 の表面上に 2 乃至 5  $\mu\text{m}$  程度の厚さのガラス層をスパッタリングにより形成しておく、静電接着技術を使うことが可能である。

#### [第 4 の実施例]

図 10 は、本発明の第 4 の実施例に係るマイクロマシンスイッチを示す断面図である。同図において、図 1 に示した第 1 の実施例に係るマイクロマシンスイッチにおける構成要素と同一符号のものは同一または同等の構成要素を示す。

図 10 に示すように、本実施例に係るマイクロマシンスイッチにおいては、信号線 3A、3B に関して左右対称に 2 個の支持部材 7 が基板 1 上に配設されている。上部電極 9 は各支持部材 7 からそれぞれ延びている片持ちアーム 8 に接続され、両側で支持された構造となっている。

また、十分な静電気力を発生させるため、信号線 3A、3B に関して左右対称に二つの中間電極 15 及び二つの下部電極 4 が設けられている。

以上のように、2 個の支持部材 7 を使って上部電極 9 を支持することが可能である。

さらに、支持部材 7 の個数は 2 に限定されるものではなく、3 個以上の支持部材 7 を用いて上部電極 9 を支持することもできる。

なお、2 個の支持部材 7 を用いる場合には、2 個の支持部材 7 は上部電極 9 に関して左右対称に配置されることが好ましいが、左右対称に配置することは必ずしも必要ではない。同様に、3 個以上の支持部材 7 を用いる場合には、それらの支持部材 7 は上部電極 9 に関して等しい円周角の方向に配置されることが好まし

いが、必ずしもそれに限定されるわけではない。

なお、第４の実施例は、図１に示した第１の実施例に係るマイクロマシンスイッチにおいて二つの支持部材７を上部電極９に関して対称に設けた構造を有しているが、図４に示した第２の実施例に係るマイクロマシンスイッチまたは図７に示した第３の実施例に係るマイクロマシンスイッチにおいても、同様に、補強部材１０に関して左右対称に二つの支持部材７を設けることも可能である。

本実施例に係るマイクロマシンスイッチの製造方法は、図１に示した第１の実施例に係るマイクロマシンスイッチの製造方法とはほぼ同様である。

図２（ａ）及び図２（ｂ）に示した各工程においては、基板１１に二つの台形状凸部を形成し、これらの台形状凸部に不純物を注入し、二つの支持部材７を形成する。図２（ｃ）に示した工程においては、二つの支持部材７のそれぞれと上部電極９とを接続する二つの片持ちアーム８を形成する。以後の工程は第１の実施例に係るマイクロマシンスイッチの製造方法と同様である。

同様に、第２の実施例に係るマイクロマシンスイッチ又は第３の実施例に係るマイクロマシンスイッチの製造方法においても、補強部材１０に関して左右対称に二つの支持部材７、片持ちアーム８、上部電極９、中間電極１５及び下部電極４が形成されるように各工程が改変すればよい。

#### 〔第５の実施例〕

図１１は、本発明の第５の実施例に係るマイクロマシンスイッチの部分的な断面図である。同図において、同図において、図１に示した第１の実施例に係るマイクロマシンスイッチにおける構成要素と同一符号のものは同一または同等の構成要素を示す。

図１１に示すように、本実施例に係るマイクロマシンスイッチにおいては、スイッチ本体部１４の表面を酸化させることにより、あるいは、他の方法により、片持ちアーム８は、シリコン層８ａと、シリコン層８ａを両側から挟む酸化シリコン層８ｂとかなる構造を有するように形成されている。二つの酸化シリコン層８ｂは同じ厚さを有している。

このように、両側の酸化シリコン層８ｂの厚さを等しくすることにより、基板１に面した領域の熱膨張係数とその反対側の領域の熱膨張係数とは対称となるた

め、高温処理を行っても、片持ちアーム 8 の反りを抑制することができる。

〔第 6 の実施例〕

図 1 2 は、本発明の第 6 の実施例に係るマイクロマシンスイッチの断面図である。同図において、図 1 に示した第 1 の実施例に係るマイクロマシンスイッチにおける構成要素と同一符号のものは同一または同等の構成要素を示す。

図 1 2 に示すように、本実施例においては、片持ちアーム 8 は、2 種以上の材料からなる薄膜を交互に積層した超格子構造を有するものとして形成されている。第 5 の実施例と同様に、本実施例においても、基板 1 に面した領域の熱膨張係数とその反対側の領域の熱膨張係数とを対称にすることができるため、温度変化による片持ちアーム 8 の反りを抑制することができる。

〔第 7 の実施例〕

図 1 3 は、本発明の第 7 の実施例に係るマイクロマシンスイッチの平面図 (a) およびその D-D' 線における断面図 (b) である。同図において、図 4 に示した第 2 の実施例に係るマイクロマシンスイッチにおける構成要素と同一符号のものは同一または同等の構成要素を示す。

図 1 3 に示すように、本実施例に係るマイクロマシンスイッチが第 2 の実施例に係るマイクロマシンスイッチと異なる点は、中間電極 1 5 が絶縁性部材 6 の一部に設けられた開口中の埋め込み配線 1 8 を介して、上部電極 9 に電氣的に短絡している点と、中間電極 1 5 および接触電極 5 の表面がそれぞれ絶縁体膜 1 6 および 1 7 によって被覆されている点である。これら二つの相違点以外の構造は、図 4 に示した第 2 の実施例に係るマイクロマシンスイッチと同じである。

中間電極 1 5 が上部電極 9 と電氣的に短絡しているため、中間電極 1 5 の電位は上部電極 9 の電位と全く同じである。

中間電極 1 5 を覆う絶縁体膜 1 6 は、中間電極 1 5 と下部電極 4 とが短絡することを防止するために設けられたものである。

接触電極 5 を覆う絶縁体膜 1 7 は、絶縁体膜 1 6 と下部電極 4 とが接触したとき (オン時) に、絶縁体膜 1 7 と信号線 3 A、3 B とが接触できるように、絶縁体膜 1 6 と対称的に設けられたものである。

ここで、中間電極 1 5 と上部電極 9 との短絡は、絶縁性部材 1 6 中に設けられ



た埋め込み配線 18に限られるものではなく、絶縁性部材 6の端部に設けた配線を介して行ってもよい、

また、中間電極 15と上部電極 9との間に設けられた絶縁性部材 6を省略し、中間電極 15を上部電極 9の底面に直接形成してもよい。

また、絶縁体膜 16および 17を下部電極 4および信号線 3A、3Bの一部に設けることも可能である。

また、接触電極 5を覆う絶縁体膜 17を省略し、中間電極 15の厚さと絶縁体膜 16の厚さとの和を接触電極 5の厚さよりも薄くすることにより、DC信号のオン／オフを行うスイッチを作製することができる。

また、絶縁体膜 16を省略して、中間電極 15の厚さを、接触電極 5の厚さ、または、接触電極 5の厚さと絶縁体膜 17の厚さとの和よりも薄くすることによっても、中間電極 15と下部電極 4との間の短絡を防ぐこともできる。

また、絶縁体膜 16を中間電極 15および下部電極 4の両方に設けてもよい。同様に、絶縁体膜 17を接触電極 5および信号線 3A、3Bの両方に設けてもよい。

さらに、絶縁体膜 16および 17は中間電極 4および接触電極 5の全てを被覆する必要はなく、その一部に設けられたとしても、上記の効果を得ることができる。

#### [第 8 の実施例]

図 14は、本発明の第 8 の実施例に係るマイクロマシンスイッチの平面図である。同図において、図 1に示した第 1 の実施例に係るマイクロマシンスイッチにおける構成要素と同一符号のものは同一または同等の構成要素を示す。

図 14に示すように、本実施例に係るマイクロマシンスイッチが第 2 の実施例と異なる点は、下部電極が中間電極 15の下側で電氣的に二つの異なる電位を持つことが可能となるように二つの下部電極 4a、4bに分離している点である。

本実施例に係るマイクロマシンスイッチにおいては、電圧は下部電極 4a、4b間に印加され、上部電極 9と結合している支持部材 7は電氣的に浮いた状態にある。このとき、二つの下部電極 4a、4bの間に印加された電圧の半分が、下部電極 4a、4bと中間電極 15との間に働くことになる。

すなわち、静電引力となってスイッチを閉じるのに役立つ電圧が半分に減少するため、第2の実施例の場合の2倍の電圧を印加することにより、スイッチを閉じることができる。

一方、上部電極9が電氣的に浮いた状態にあるため、上部電極9と下部電極4aおよび4bとの間の絶縁性部材6が高圧のために破壊されるという問題は生じない。とりわけ、支持部材7に電位を与えるための信号線3aを形成する必要がないため、デバイス全体としての配線を非常に簡略化することができるという長所がある。

先に、第1の実施例において述べた、支持部材7を電氣的に浮かせた状態における駆動方法においては、マイクロマシンスイッチが周囲の配線の影響を受けるということが問題となることがあるが（例えば、多数のマイクロマシンスイッチを配置した場合、各マイクロマシンスイッチにおける駆動電圧が異なることがある）、本実施例においては、周囲の影響をあまり受けることなく、マイクロマシンスイッチを駆動させることができる。

なお、本実施例においては、上部電極6を片持ちアーム8と接続させた例を示したが、中間電極15の電位を二つの下部電極4aおよび4bによって決めることができるので、この上部電極9を省略することができる。

また、上部電極9を単に補強板として利用することも可能である。さらに、上部電極9を片持ちアーム8と切り離してもよい。さらに、支持部材7、片持ちアーム8及び上部電極9を絶縁体あるいは高抵抗の半導体等の材料を使って作製することもできる。

#### [第9の実施例]

図15は、本発明の第9の実施例に係るマイクロマシンスイッチの平面図である。同図において、図14に示した第8の実施例に係るマイクロマシンスイッチにおける構成要素と同一符号のものは同一または同等の構成要素を示す。

図15に示すように、本実施例に係るマイクロマシンスイッチは、図14に示したマイクロマシンスイッチと同様に、下部電極が中間電極15の下側で電氣的に二つの異なる電位を持つことが可能となるように二つの下部電極4c、4dに分離している。ただし、これらの下部電極4c、4dは櫛歯構造を有している点

が第 8 の実施例における下部電極 4 a, 4 b と異なる点である。

図 1 4 に示した第 8 の実施例においては、スイッチ本体部 1 4 を基板 1 に接着する際に、下部電極 4 a, 4 b が上部電極 9 の中央に関して対称に位置するようにしなければならない。すなわち、中間電極 1 5 と下部電極 4 a, 4 b の各々が重なる領域が等しい大きさにならないと、中間電極 1 5 の電位が二つの下部電極 4 a, 4 b の電圧の半分にはならず、上部電極 9 が大きな領域の下部電極の方に引き寄せられることがある。この場合、片持ちアーム 8 にねじれの変位が生じることとなる。

そこで、本実施例はこのような問題を解決するため、下部電極 4 c, 4 d を櫛歯構造とすることにより、スイッチ本体部 1 4 を基板 1 に接着する際に若干のずれが生じて、下部電極 4 c, 4 d のそれぞれと上部電極 9 とが重なる領域の大きさが等しくなるようにしている。

なお、図 1 5 に示した下部電極 4 c, 4 d は 2 個の櫛歯を有するものとして示されているが、櫛歯の数は 2 個に限られるものではなく、さらに多数の櫛歯を設けることができる。また、櫛歯の方向も任意に変えることができる。

なお、図 1 4 に示した第 8 の実施例及び図 1 5 に示した本実施例において、下部電極を二つ以上の電極に分離することに代えて、上部電極 9 を二つ以上の電極に電氣的に分離してもよい。あるいは、上部電極および下部電極の両者を複数の電極に分離してもよい。

また、分離される電極の個数は 2 個に限定されるものではなく、3 個又は 4 個以上であってもよい。

#### [第 10 の実施例]

上述の第 1 乃至 9 の実施例に係るマイクロマシンスイッチは、直流電流の信号から高周波数の交流電流の信号まで幅広く適用することができ、特に、フェーズドアレイアンテナ装置に適用すると効果的である。以下、その適用例について説明する。

図 1 6 は、特願平 10-176367 号に開示されたフェーズドアレイアンテナ装置を示すブロック図である。

同図に示すように、フェーズドアレイアンテナ装置は、M 個 (M は 2 以上の自

然数)のアンテナ23を有し、アンテナ23は移相回路24に接続されている。この移相回路24は、データ分配回路24aと、このデータ分配回路24aに接続されたM個のデータラッチ回路24bと、このデータラッチ回路24bに接続されたM個のNビット(Nは自然数)の移相器24cと、によって構成されている。

各アンテナ23はM個の移相器24cの各々に接続され、各移相器24cは分配合成器22を介して給電部21に接続されている。

また、データ分配回路24aは、制御装置20に接続されている。なお、データ分配回路24aおよびデータラッチ回路24bは、基板上に薄膜トランジスタ回路(TFT回路)で実現されている。

また、移相器24cは、各ビット毎に上述の第1乃至第9の実施例に係るマイクロマシンスイッチの何れかを備えており、各データラッチ回路24bは各移相器24cのマイクロマシンスイッチに接続されている。

このように、図16に示されたフェーズドアレイアンテナ装置においては、従来、外付けICとして形成されていた移相器用駆動回路をTFT回路で構成し、移相器24cと同一層に形成している。

次に、図16に示されたフェーズドアレイアンテナ装置の動作について説明する。

制御装置20は、予め設定されているアンテナ23の位置と、使用する周波数とに基づいて、放射ビームを所望の方向に向けるために最適な移相量をNビットの精度で計算し、その結果を制御信号としてデータ分配回路24aに出力する。

データ分配回路24aは、各データラッチ回路24bにこの制御信号を分配する。

アンテナ23における電波の放射方向は、全てのアンテナ23について一斉に切り換えられる。その際、各データラッチ回路24bは、ビーム方向を切り換えるためのタイミング信号に同期して、保持しているデータを入力データである制御信号に書き換え、新たに保持したデータ(すなわち、制御信号)に基づき、移相器24cが必要とするビットのマイクロマシンスイッチに対して駆動電圧を一斉に印加する。

マイクロマシンスイッチに駆動電圧が印加されると、マイクロマシンスイッチは回路を閉じて、そのマイクロマシンスイッチが含まれるビットをオン状態にする。移相器 24c のどのビットがオン状態になるかに応じて、その移相器 24c の移相量が設定される。

各移相器 24c は、このようにして設定された移相量だけ高周波信号の位相を変え、各アンテナ 23 に給電する。各アンテナ 23 は、給電された位相に応じた位相の放射を行い、その放射によって等位相面が生成され、この等位相面と垂直な方向に放射ビームが形成される。

次に、図 16 に示したフェーズドアレイアンテナ装置の詳細な構造について説明する。

図 17 は、フェーズドアレイアンテナ装置の構造を示す分解斜視図である。

同図に示されるように、本フェーズドアレイアンテナ装置は多層構造となっている。すなわち、本フェーズドアレイアンテナ装置は、分配合成層 L1 と、誘電体層 L2 と、給電用スロット層 L3 と、誘電体層 L4 と、放射素子と移相器と T F T 回路とからなる層（以下、「移相回路層」という）L5 と、誘電体層 L6 と、無給電素子層 L7 とがそれぞれ密着して張り合わされている構造を有している。

各層は、フォトリソグラフィおよびエッチング技術、あるいは、接着技術等を利用して多層化されている。

例えば、無給電素子層 L7 および移相回路層 L5 は、誘電体層 L6 の各面に形成された金属膜に対してフォトリソグラフィおよびエッチング技術を施すことによって、形成される。給電用スロット層 L3 は、誘電体層 L4 の片面に形成された金属膜に対してフォトリソグラフィおよびエッチング技術を施すことによって、形成される。

無給電素子層 L7 には、複数の無給電素子 32 が形成されている。この無給電素子 32 はアンテナの帯域を広げるために用いられ、誘電体層 L6 を介して、移相回路層 L5 の放射素子と電磁結合されている。

誘電体層 L6 は、比誘電率が 2 乃至 10 程度の誘電体から形成されている。例えば、誘電体としてガラスを用いれば製造コストを低減させることができる。こ

のため、誘電体層のうちの少なくとも一層はガラス層であることが望ましい。

なお、製造コストの問題を無視すれば、誘電体層 L 6 に比誘電率の高いアルミナや比誘電率の低い発泡材等の誘電体を使用してもよい。

移相回路層 L 5 には、図 1 6 に示されたアンテナ 2 3 の一部と、移相回路 2 4 と、アンテナ 2 3 に給電を行うためのストリップライン等が形成されている。

誘電体層 L 4 は、アルミナその他の比誘電率が 3 乃至 1 2 程度の誘電体で形成されている。

給電用スロット層 L 3 は、導電性を有する金属によって形成され、給電用結合手段である給電用スロット 3 0 が複数形成されている。なお、給電用スロット層 3 0 は、誘電体層 L 4 に適宜設けられたスルーホールを介して移相回路層 L 5 と接続され、移相回路層 L 5 の接地としても機能する。

分配合成層 L 1 には、複数の分配合成器 2 2 が形成されている。分配合成器 2 2 は、給電用スロット層 L 3 に設けられた給電用スロット 3 0 を介して、移相回路層 L 5 と電磁的に結合されている。1 個の分配合成器 2 2 と 1 個の給電用スロット 3 0 とが 1 個の給電ユニットを構成しており、各給電ユニットはマトリックス状に配置されている。

ただし、給電ユニットをマトリックス状に配置することは必ずしも必要ではなく、非マトリックス状に配置してもよい。

なお、放射素子 3 1 は、マトリックス状に配置されていてもよいし、単に 2 次元的に配列されているだけでもよい。あるいは、一方向に整列配置されていてもよい。

また、図 1 7 においては、分配合成器 2 2 と移相回路層 L 5 とが、給電用スロット層 L 3 を介して、電磁的に結合されているが、分配合成器 2 2 と移相回路層 L 5 とが給電ピンその他の給電用結合手段を介して接続されている場合においては、分配合成器 2 2 と移相回路層 L 5 とは同一面に形成されていてもよい。

次に、図 1 7 に示された移相回路層 L 5 について詳細に説明する。

図 1 8 は、移相回路層 L 5 の 1 ユニットを示す平面図である。

同図に示すように、ガラス基板その他の材質からなる誘電体層 L 6 には、放射素子 4 1、4 個の移相器 4 0 a、4 0 b、4 0 c、4 0 d からなる移相器群 4 0

およびデータラッチ回路46が形成されている。データラッチ回路46は移相器40a、40b、40c、40dの各ビット毎に設けられている。

また、ストリップライン42は、放射素子41から移相器群40を介して、図17に示された給電用スロット30に対応する位置まで配設されている。

放射素子41としては、例えば、パッチアンテナ、プリントダイポール、スロットアンテナ、アパーチャ素子等が使用される。ストリップライン42としては、マイクロストリップ線路、トリプレート線路、コプレーナ線路、スロット線路等の分布定数線路が使用される。

図18に示す移相器群40は4個の移相器40a、40b、40cおよび40dによって構成されており、全体で4ビットの移相器を構成している。各移相器40a、40b、40c、40dはそれぞれ給電する位相を $22.5^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $90^\circ$ 、 $180^\circ$ だけ変化させることができ、それぞれストリップラインとマイクロマシンスイッチとから構成されている。

ここで、移相器40a、40b、40cは、それぞれ、ストリップライン42と接地43との間に接続された2個のストリップライン44と、ストリップライン44の途中に接続されたマイクロマシンスイッチ45とから構成されている。これらの移相器40a、40b、40cは、ローデッドライン形移相器を構成している。

一方、移相器40dは、ストリップライン42の途中に接続されたマイクロマシンスイッチ45aと、コの字型のストリップライン44aと、ストリップライン44aと接地43との間に接続されたマイクロマシンスイッチ45bとから構成されている。この移相器40dは、スイッチドライン形移相器を構成している。

一般に、移相量が小さい場合にはローデッドライン形の方が良い特性が得られ、移相量が大きい場合にはスイッチドライン形の方が良い特性が得られる。このため、本実施例においては、上述のように、 $22.5^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $90^\circ$ の移相器としてローデッドライン形の移相器40a、40b、40cを用い、 $180^\circ$ の移相器としてスイッチドライン形の移相器40dを用いている。ただし、移相器40a、40b、40cとしてスイッチドライン形を用いることも可能である。

。各移相器40a、40b、40c、40dに含まれる2個のマイクロマシンスイッチ45、45a、45bは、その近傍に配設されたデータラッチ回路46に接続され、データラッチ回路46が出力する駆動電圧によって同時に動作する。

このように、ストリップライン42に流れる高周波信号は、移相器群40の働きにより、その給電位相が変化させられる。

なお、データラッチ回路46を、各マイクロマシンスイッチ45、45a、45bの近傍に配置する代わりに、複数のデータラッチ回路46を一カ所にまとめて配置し、そこから配線を延ばして各マイクロマシンスイッチ45、45a、45bを駆動するようにしてもよい。

あるいは、1個のデータラッチ回路46を複数の異なるユニットのマイクロマシンスイッチ45、45a、45bに接続してもよい。

図19は、ローデッドライン形の移相器に用いられたマイクロマシンスイッチ45の周辺を拡大した平面図である。

同図に示すように、2個のマイクロマシンスイッチ45は、2個のストリップライン44に対して左右対称となるように配設されている。また、これらのマイクロマシンスイッチ45は、図示しない1個のデータラッチ回路に接続され、そのデータラッチ回路から同時に駆動電圧（外部電圧）が供給される。マイクロマシンスイッチ45としては、上述の第1乃至9の実施例において述べたものを使用することができる。

#### 産業上の利用可能性

以上説明したとおり、本発明に係るマイクロマシンスイッチにおいては、下部電極と上部電極との間に中間電極が設けられる。この中間電極を設けたことにより、スイッチを駆動する印加電圧を低減させることができる。

例えば、接触電極と信号線との間のギャップが4  $\mu$ mである場合には、上部電極と下部電極との間に印加する電圧を、従来のマイクロマシンスイッチにおける印加電圧の約2/3に低減させることができる。また、接触電極と信号線との間の距離を4  $\mu$ m以下にする場合には、印加電圧の低減の効果はさらに増大し、従



来例の 1 / 2 以下に抑えることができる。

この中間電極は、従来の接触電極を作製するのと同時に作製することが可能であるため、スイッチ作製プロセスに特に追加の工程を加える必要がなく、コストの上昇が抑えられるという利点がある。

さらに、上述のように、上部電極と下部電極との間の印加電圧を低減できることから、上部電極と下部電極との間の絶縁体膜に大きな電圧が印加されることを防ぐことができ、特に、高品質の絶縁体膜を作製する必要がなくなり、スイッチ作製プロセスの選択性を広めることにつながる。したがって、従来この絶縁体膜の耐圧特性の限界から発生していたデバイスの破壊を防止することができる。

また、外部駆動回路において必要とされる電圧も低下し、外部駆動回路の構成を簡略化することができると同時に消費電力も低減させることができる。

一方、下部電極を 2 個又は 3 個以上に分割することにより、同一寸法の下部電極を 1 個備える構造と比較した場合、印加電圧は高くなるが、絶縁体膜に電圧が印加されないため、低品質の絶縁体膜を使用したとしても、絶縁破壊が起きることを防止することができる。印加電圧の上昇は、デバイスの寸法を増大させることによって補償することが可能であり、デバイス寸法を特に小さくする必要がないような場合に採用することができる。

さらに、何よりも、上部電極を設けることは必要ではなくなり、下部電極に電圧を印加するだけでマイクロマシンスイッチの駆動が可能となることから、マイクロマシンスイッチの配線が簡略化されるという著しい効果が生ずる。このため、配線にともなうコストの上昇、デバイス構造の複雑化、長期信頼性の低下等の欠点を著しく改善することができる。

また、本発明に係るマイクロマシンスイッチの製造方法は、高い温度プロセスを利用することから、次のような効果が得られる。

第一に、梁部材等を構成する材料の選択の範囲が広がり、種々の導体および半導体を利用することが可能となり、材料選択の自由度が増大する。

第二に、高温で作製された絶縁体膜の耐圧特性が優れているため、デバイスの電気特性を向上させることができる。

第三に、厚さ方向の自由度が増大したため、梁部材の幅を減少させることがで

き、スイッチの寸法を小さくすることが可能となる。

以上の利点が生まれたために、本発明に係るマイクロマシンスイッチは、個々にして使用する単純なスイッチに留まらず、大面積の基板上に数万個のオーダーで集積化することが要求されるフェーズドアレイアンテナにおける使用のような新たな応用を可能とする。

### 請求の範囲

1. 基板上に設けられた第1の信号線と、前記基板上に設けられ、かつ、前記第1の信号線の端部から所定のギャップを隔てて位置する端部を有する第2の信号線との間の導通／非導通を制御するマイクロマシンスイッチにおいて、

前記基板上に設けられ、かつ、前記基板の表面に対して所定の高さを有する支持部材と、

前記支持部材から前記基板の表面に対して略水平に突出し、かつ、一部が前記ギャップと対向するようにして設けられた可撓性の梁部材と、

前記梁部材の前記基板と対向する面において、少なくとも前記ギャップと対向する位置に設けられた接触電極と、

前記梁部材の一部と対向して前記基板上において設けられた下部電極と、

前記下部電極と対向して前記梁部材に設けられた中間電極と、

を備えたことを特徴とするマイクロマシンスイッチ。

2. 前記支持部材と前記梁部材の少なくとも一部とは同一の導電性部材からなる一体構造であることを特徴とする請求の範囲第1項に記載のマイクロマシンスイッチ。

3. 前記梁部材は、

前記支持部材から少なくとも前記下部電極と対向する位置まで延びている導電性部材と、

前記導電性部材の先端から前記ギャップと対向する位置まで延びている絶縁性部材と、からなり、

前記接触電極は、前記ギャップと対向して前記絶縁性部材に設けられていることを特徴とする請求の範囲第1項に記載のマイクロマシンスイッチ。

4. 前記導電性部材は少なくとも2つ以上の片持ちアームを構成するものであることを特徴とする請求の範囲第1項に記載のマイクロマシンスイッチ。

5. 前記梁部材は、前記絶縁性部材上において前記導電性部材と一体に成形されている上部電極をさらに備えることを特徴とする請求の範囲第1項に記載のマイクロマシンスイッチ。
6. 前記上部電極は前記中間電極から前記接触電極にわたって形成されていることを特徴とする請求の範囲第5項に記載のマイクロマシンスイッチ。
7. 前記上部電極及び前記絶縁性部材には前記下部電極に通じる貫通孔が形成されていることを特徴とする請求項5に記載のマイクロマシンスイッチ。
8. 前記上部電極、前記絶縁性部材及び前記接触電極を貫通する貫通孔が形成されていることを特徴とする請求項5に記載のマイクロマシンスイッチ。
9. 前記上部電極は前記導電性部材よりも小さくない厚みを有していることを特徴とする請求の範囲第1項に記載のマイクロマシンスイッチ。
10. 前記支持部材は浮遊電位を有するものとして構成されていることを特徴とする請求の範囲第1項に記載のマイクロマシンスイッチ。
11. 前記基板上に設けられ、かつ、前記基板の表面に対して所定の高さを有する少なくとも一つの第二の支持部材をさらに備えており、  
前記第二の支持部材は、前記第二の支持部材から前記基板の表面に対して略水平に突出した少なくとも一つのアームを介して前記梁部材と接続しているものであることを特徴とする請求の範囲第1項に記載のマイクロマシンスイッチ。
12. 前記梁部材の一部と対向して前記基板上において設けられた第二の下部電極と、前記第二の下部電極と対向して前記梁部材に設けられた第二の中間電極と、をさらに備えることを特徴とする請求の範囲第11項に記載のマイクロマ

シンスイッチ。

13. 基板上に設けられた第1の信号線と、前記基板上に設けられ、かつ、前記第1の信号線の端部から所定のギャップを隔てて位置する端部を有する第2の信号線との間の導通／非導通を制御するマイクロマシンスイッチにおいて、

前記基板上に設けられ、かつ、前記基板の表面に対して所定の高さを有する支持部材と、

前記支持部材から前記基板の表面に対して略水平に突出し、かつ、一部が前記ギャップと対向するようにして設けられた可撓性の梁部材と、

前記梁部材の底面に接し、前記梁部材の先端から前記梁部材が延びている方向と同一の方向に延びている絶縁性部材と、

前記絶縁性部材の前記基板と対向する面において、少なくとも前記ギャップと対向する位置に設けられた接触電極と、

前記梁部材の一部と対向して前記基板上において設けられた下部電極と、

前記下部電極と対向して前記絶縁性部材に設けられた中間電極と、

前記接触電極が設けられた面とは反対側の面において、前記接触電極と対向して前記絶縁性部材上に設けられた補強部材と、

を備えたことを特徴とするマイクロマシンスイッチ。

14. 前記補強部材はシリコンからなることを特徴とする請求の範囲第13項に記載のマイクロマシンスイッチ。

15. 前記支持部材と前記梁部材の少なくとも一部とは同一の導電性部材からなる一体構造であることを特徴とする請求の範囲第13項に記載のマイクロマシンスイッチ。

16. 前記梁部材は少なくとも2つ以上の片持ちアームを有するものであることを特徴とする請求の範囲第13項に記載のマイクロマシンスイッチ。

17. 前記梁部材は前記絶縁性部材上において一体に成形されている上部電極をさらに備えることを特徴とする請求の範囲第13項に記載のマイクロマシンスイッチ。

18. 前記上部電極及び前記絶縁性部材には前記下部電極に通じる貫通孔が形成されていることを特徴とする請求項17に記載のマイクロマシンスイッチ。

19. 前記補強部材、前記絶縁性部材及び前記接触電極を貫通する貫通孔が形成されていることを特徴とする請求項13に記載のマイクロマシンスイッチ。

20. 前記基板上に設けられ、かつ、前記基板の表面に対して所定の高さを有する少なくとも一つの第二の支持部材をさらに備えており、

前記第二の支持部材は、前記第二の支持部材から前記基板の表面に対して略水平に突出した第二の梁部材を介して、底面において、前記絶縁性部材と接続しているものであることを特徴とする請求の範囲第13項に記載のマイクロマシンスイッチ。

21. 前記第二の梁部材の一部と対向して前記基板上において設けられた第二の下部電極と、前記第二の下部電極と対向して前記絶縁性部材に設けられた第二の中間電極と、をさらに備えることを特徴とする請求の範囲第20項に記載のマイクロマシンスイッチ。

22. 基板上に設けられた第1の信号線と、前記基板上に設けられ、かつ、前記第1の信号線の端部から所定のギャップを隔てて位置する端部を有する第2の信号線との間の導通／非導通を制御するマイクロマシンスイッチにおいて、

前記基板上に設けられ、かつ、前記基板の表面に対して所定の高さを有する支持部材と、

前記支持部材から前記基板の表面に対して略水平に突出し、かつ、一部が前記ギャップと対向するようにして設けられた可撓性の梁部材と、

前記梁部材の底面と同一平面をなす底面を有し、前記梁部材の先端から前記梁部材が延びている方向と同一の方向に延びている第一の絶縁性部材と、

前記第一の絶縁性部材の前記基板と対向する面において、少なくとも前記ギャップと対向する位置に設けられた接触電極と、

前記梁部材の一部と対向して前記基板上において設けられた下部電極と、

前記下部電極に対向して前記梁部材の底面に設けられた中間電極と、

前記接触電極が設けられた面とは反対側の面において、前記接触電極と対向して前記第一の絶縁性部材の表面に設けられた補強部材と、

を備えたことを特徴とするマイクロマシンスイッチ。

23. 前記第一の絶縁性部材は前記梁部材と同一の半導体材料からなるものであることを特徴とする請求の範囲第22項に記載のマイクロマシンスイッチ。

24. 前記第一の絶縁性部材は前記支持部材及び前記梁部材の抵抗よりも高い抵抗を有するものであることを特徴とする請求の範囲第22項に記載のマイクロマシンスイッチ。

25. 前記下部電極に対向するように、前記梁部材の底面に設けられた第二の絶縁性部材をさらに備え、前記中間電極は前記第二の絶縁性部材の底面に設けられていることを特徴とする請求の範囲第22項に記載のマイクロマシンスイッチ。

26. 前記第二の絶縁性部材は前記接触電極の厚さよりも小さい厚さを有するものであることを特徴とする請求の範囲第25項に記載のマイクロマシンスイッチ。

27. 前記基板上に設けられ、かつ、前記基板の表面に対して所定の高さを有する少なくとも一つの第二の支持部材をさらに備えており、

前記第二の支持部材は、前記第二の支持部材から前記基板の表面に対して略水

平に突出した第二の梁部材を介して前記第一の絶縁性部材と接続しているものであることを特徴とする請求の範囲第22項に記載のマイクロマシンスイッチ。

28. 前記第二の梁部材の一部と対向して前記基板上において設けられた第二の下部電極と、前記第二の下部電極と対向して前記第二の梁部材に設けられた第二の中間電極と、をさらに備えることを特徴とする請求の範囲第27項に記載のマイクロマシンスイッチ。

29. 前記第二の下部電極に対向するように、前記第二の梁部材の底面に設けられた第三の絶縁性部材をさらに備え、前記第二の中間電極は前記第三の絶縁性部材の底面に設けられていることを特徴とする請求の範囲第28項に記載のマイクロマシンスイッチ。

30. 基板上に設けられた第1の信号線と、前記基板上に設けられ、かつ、前記第1の信号線の端部から所定のギャップを隔てて位置する端部を有する第2の信号線との間の導通／非導通を制御するマイクロマシンスイッチにおいて、

前記基板上に設けられ、かつ、前記基板の表面に対して所定の高さを有する支持部材と、

前記支持部材から前記基板の表面に対して略水平に突出し、かつ、一部が前記ギャップと対向するようにして設けられた可撓性の梁部材と、

前記梁部材の底面に接し、前記梁部材の先端から前記梁部材が延びている方向と同一の方向に延びている第一の絶縁性部材と、

前記第一の絶縁性部材の前記基板と対向する面において、少なくとも前記ギャップと対向する位置に設けられた接触電極と、

前記梁部材の一部と対向して前記基板上において設けられた下部電極と、

前記下部電極と対向して前記第一の絶縁性部材に設けられ、かつ、前記梁部材と電氣的に短絡している中間電極と、

前記接触電極が設けられた面とは反対側の面において、前記接触電極と対向して前記第一の絶縁性部材上に設けられた補強部材と、



を備えたことを特徴とするマイクロマシンスイッチ。

31. 前記第一の絶縁性部材には開口が形成され、前記開口の内部には導体が埋め込まれており、前記中間電極と前記梁部材とは前記導体を介して電氣的に短絡していることを特徴とする請求の範囲第30項に記載のマイクロマシンスイッチ。

32. 前記中間電極及び前記下部電極の少なくとも一方の少なくとも一部を覆う第一の絶縁膜をさらに備えることを特徴とする請求の範囲第30項に記載のマイクロマシンスイッチ。

33. 前記接触電極並びに前記第1及び第2の信号線の少なくとも一方の少なくとも一部を覆う第二の絶縁膜をさらに備えることを特徴とする請求の範囲第30項に記載のマイクロマシンスイッチ。

34. 前記第一の絶縁膜は前記中間電極の少なくとも一部を覆っており、前記中間電極の厚さと前記第一の絶縁膜の厚さとの和が前記接触電極の厚さよりも小さいことを特徴とする請求の範囲第32項に記載のマイクロマシンスイッチ。

35. 前記第二の絶縁膜は前記接触電極の少なくとも一部を覆っており、前記接触電極の厚さと前記第二の絶縁膜の厚さとの和が前記中間電極の厚さよりも大きいことを特徴とする請求の範囲第33項に記載のマイクロマシンスイッチ。

36. 前記下部電極は、前記支持部材と前記ギャップとの間において、前記基板上に設けられていることを特徴とする請求の範囲第1項乃至第35項の何れか一項に記載のマイクロマシンスイッチ。

37. 前記導電性部材は半導体材料からなることを特徴とする請求の範囲第3項又は第4項に記載のマイクロマシンスイッチ。

38. 前記半導体材料は単結晶の半導体であることを特徴とする請求の範囲第5項に記載のマイクロマシンスイッチ。
39. 前記半導体材料はアモルファス半導体または多結晶半導体であることを特徴とする請求の範囲第37項に記載のマイクロマシンスイッチ。
40. 前記支持部材と前記梁部材とはそれらの表面が鈍角をなして接続されていることを特徴とする請求の範囲第1項乃至第35項の何れか一項に記載のマイクロマシンスイッチ。
41. 前記中間電極は前記接触電極よりも小さい厚みを有していることを特徴とする請求の範囲第1項乃至第35項の何れか一項に記載のマイクロマシンスイッチ。
42. 前記接触電極並びに前記第1及び第2の信号線の少なくとも一方は、容量接続可能な絶縁体膜によって覆われていることを特徴とする請求の範囲第1項乃至第35項の何れか一項に記載のマイクロマシンスイッチ。
43. 前記基板はガラス基板またはセラミック基板であることを特徴とする請求の範囲第1項乃至第35項の何れか一項に記載のマイクロマシンスイッチ。
44. 前記基板はガリウムヒ素基板であることを特徴とする請求の範囲第1項乃至第35項の何れか一項に記載のマイクロマシンスイッチ。
45. 前記中間電極は前記上部電極と電氣的に短絡され、かつ、前記上部電極は電氣的に浮遊した状態にあることを特徴とする請求の範囲第1項乃至第35項の何れか一項に記載のマイクロマシンスイッチ。

46. 前記下部電極は、前記上部電極と向かい合う面積が互いに等しい複数の電極によって構成されていることを特徴とする請求の範囲第1項乃至第35項の何れか一項に記載のマイクロマシンスイッチ。

47. 前記上部電極は、前記下部電極と向かい合う面積が互いに等しい複数の電極によって構成されていることを特徴とする請求の範囲第1項乃至第35項の何れか一項に記載のマイクロマシンスイッチ。

48. 前記上部電極及び前記下部電極の両者は、互いに向かい合う面積が等しい複数の電極によって構成されていることを特徴とする請求の範囲第1項乃至第35項の何れか一項に記載のマイクロマシンスイッチ。

49. 前記複数の電極によって構成される上部電極または下部電極は櫛歯状の電極であることを特徴とする請求の範囲第46項乃至第48項の何れか一項に記載のマイクロマシンスイッチ。

50. 前記支持部材及び前記梁部材の表面は絶縁膜で覆われていることを特徴とする請求の範囲第1項乃至第35項の何れか一項に記載のマイクロマシンスイッチ。

51. 前記梁部材はシリコンからなり、前記絶縁膜は前記梁部材の表面酸化膜からなるものであることを特徴とする請求の範囲第1項乃至第35項の何れか一項に記載のマイクロマシンスイッチ。

52. 前記絶縁膜の前記梁部材の表面上における厚さと前記梁部材の底面上における厚さとは等しいものであることを特徴とする請求の範囲第1項乃至第35項の何れか一項に記載のマイクロマシンスイッチ。

53. 前記梁部材は、2種以上の材料からなる薄膜を交互に積層してなる超

格子構造を有するものであることを特徴とする請求の範囲第1項乃至第35項の何れか一項に記載のマイクロマシンスイッチ。

54. 各ビット毎にマイクロマシンスイッチを備える少なくとも一つの移相器を備えたフェーズドアレイアンテナ装置であって、前記マイクロマシンスイッチは請求の範囲第1項乃至第24項の何れか一項に記載のマイクロマシンスイッチであることを特徴とするフェーズドアレイアンテナ装置。

55. M個（Mは2以上の自然数）のアンテナと、  
データ分配回路と、  
前記データ分配回路に接続されたM個のデータラッチ回路と、  
それぞれが対応する前記データラッチ回路及び前記アンテナに接続しているM個のNビット（Nは自然数）の移相器と、  
前記移相器の各々に給電を行う給電器と、  
前記データラッチ回路の各々及び前記データ分配回路に接続されている制御装置と、

からなるフェーズドアレイアンテナ装置であって、  
前記移相器の各々はビット毎にマイクロマシンスイッチを備えており、前記データラッチ回路の各々は各移相器の前記マイクロマシンスイッチに接続されており、

前記制御装置は、予め設定されている前記アンテナの位置と、使用する周波数とに基づいて、放射ビームを所望の方向に向けるのに最適な位相量をNビットの精度で計算し、その計算結果を前記データ分配回路を介して前記データラッチ回路の各々に分配し、

前記移相器の各々は、前記移相器が必要とするビットのマイクロマシンスイッチに対して駆動電圧を印加し、その移相器の位相量を設定し、設定された位相量に応じて高周波信号の位相を変え、前記アンテナの各々に給電するものであり、

前記マイクロマシンスイッチは請求の範囲第1項乃至第39項の何れか一項に記載のマイクロマシンスイッチであるフェーズドアレイアンテナ装置。

56. 基板上の第一の領域以外の領域をエッチングし、前記第一の領域を凸部として残す第一の過程と、

前記第一の領域と、前記第一の領域とは異なる領域である前記基板の第二の領域とに不純物を拡散させる第二の過程と、

前記第一の領域と前記第二の領域とを結ぶ第三の領域に不純物を拡散させる第三の過程と、

前記第二の領域上に絶縁性部材を設ける第四の過程と、

前記第二の領域の上方において前記絶縁性部材上に第一の電極及び第二の電極を形成する第五の過程と、

第二の基板上に第三の電極と一对の信号線とを形成する第六の過程と、

前記第一の電極が前記一对の信号線に対向し、かつ、前記第二の電極が前記第三の電極に対向するように、前記基板の前記第一の領域の上面を前記第二の基板に接着させる第七の過程と、

前記不純物を拡散させた領域以外の前記基板の領域を除去する第八の過程と、  
からなるマイクロマシンスイッチの製造方法。

57. 基板上の第一及び第二の領域以外の領域をエッチングし、前記第一及び第二の領域を凸部として残す第一の過程と、

前記第一及び第二の領域と、前記第一と第二の領域との間に位置する領域である前記基板の第三の領域とに不純物を拡散させる第二の過程と、

前記第一の領域と前記第三の領域とを結ぶ第四の領域及び前記第二の領域と前記第三の領域とを結ぶ第五の領域に不純物を拡散させる第三の過程と、

前記第三の領域上に絶縁性部材を設ける第四の過程と、

前記第三の領域の上方において前記絶縁性部材上に第一の電極及び第二の電極を形成する第五の過程と、

第二の基板上に第三の電極と一对の信号線とを形成する第六の過程と、

前記第一の電極が前記一对の信号線に対向し、かつ、前記第二の電極が前記第三の電極に対向するように、前記基板の前記第一及び第二の領域の双方の上面を

前記第二の基板に接着させる第七の過程と、

前記不純物を拡散させた領域以外の前記基板の領域を除去する第八の過程と、  
からなるマイクロマシンスイッチの製造方法。

58. 基板上の第一の領域以外の領域をエッチングし、前記第一の領域を凸部として残す第一の過程と、

前記第一の領域と、第三の領域と、前記第一の領域と前記第三の領域との間に位置する第二の領域とに不純物を拡散させる第二の過程と、

前記第一の領域と前記第二の領域とを結ぶ第四の領域に不純物を拡散させる第三の過程と、

前記基板上において、前記第二の領域から前記第三の領域にわたる絶縁性部材を設ける第四の過程と、

前記第三の領域の上方において前記絶縁性部材上に第一の電極を形成し、前記第二の領域の上方において前記絶縁性部材上に第二の電極を形成する第五の過程と、

第二の基板上に第三の電極と一对の信号線とを形成する第六の過程と、

前記第一の電極が前記一对の信号線に対向し、かつ、前記第二の電極が前記第三の電極に対向するように、前記基板の前記第一の領域の上面を前記第二の基板に接着させる第七の過程と、

前記不純物を拡散させた領域以外の前記基板の領域を除去する第八の過程と、  
からなるマイクロマシンスイッチの製造方法。

59. 前記第二の領域に達する貫通孔を前記絶縁性部材に形成する過程と、  
前記貫通孔に導電体を埋め込み、前記第二の電極が前記導電体を介して前記第二の領域と電氣的に短絡するようにする過程と、

をさらに備えることを特徴とする請求の範囲第58項に記載のマイクロマシンスイッチの製造方法。

60. 前記第一の電極及び前記第二の電極を絶縁体で覆う過程をさらに備え

ることを特徴とする請求の範囲第59項に記載のマイクロマシンスイッチの製造方法。

61. 基板上の第一及び第二の領域以外の領域をエッチングし、前記第一及び第二の領域を凸部として残す第一の過程と、

前記第一及び第二の領域と、前記第一の領域と前記第二の領域との間に位置する第三の領域と、前記第二の領域と前記第三の領域との間に位置する第四の領域と、前記第二の領域と前記第四の領域との間に位置する第五の領域とに不純物を拡散させる第二の過程と、

前記第一の領域と前記第三の領域とを結ぶ第六の領域と、前記第二の領域と前記第五の領域とを結ぶ第七の領域とに不純物を拡散させる第三の過程と、

前記基板上において、前記第三の領域から前記第五の領域にわたる絶縁性部材を設ける第四の過程と、

前記第三の領域の上方において前記絶縁性部材上に第一の電極を形成し、前記第四の領域の上方において前記絶縁性部材上に第二の電極を形成し、前記第五の領域の上方において前記絶縁性部材上に第三の電極を形成する第五の過程と、

第二の基板上に、第四の電極と、第五の電極と、一对の信号線とを形成する第六の過程と、

前記第二の電極が前記一对の信号線に対向し、前記第一の電極が前記第四の電極に対向し、かつ、前記第三の電極が前記第五の電極に対向するように、前記基板の前記第一及び第二の領域の上面を前記第二の基板に接着させる第七の過程と、

前記不純物を拡散させた領域以外の前記基板の領域を除去する第八の過程と、  
からなるマイクロマシンスイッチの製造方法。

62. 前記第三の領域に達する第一の貫通孔及び前記第四の領域に達する第二の貫通孔を前記絶縁性部材に形成する過程と、

前記第一及び第二の貫通孔にそれぞれ導電体を埋め込み、前記第一の電極が前記導電体を介して前記第三の領域と電氣的に短絡し、前記第二の電極が前記導電

体を介して前記第四の領域と電氣的に短絡するようにする過程と、

をさらに備えることを特徴とする請求の範囲第61項に記載のマイクロマシンスイッチの製造方法。

63. 前記第一の電極、前記第二の電極及び前記第三の電極を絶縁体で覆う過程をさらに備えることを特徴とする請求の範囲第62項に記載のマイクロマシンスイッチの製造方法。

64. 基板上の第一の領域以外の領域をエッチングし、前記第一の領域を凸部として残す第一の過程と、

前記第一の領域と、第三の領域と、前記第一の領域と前記第三の領域との間に位置する第二の領域とに不純物を拡散させる第二の過程と、

前記第一の領域と前記第二の領域とを結ぶ第四の領域に不純物を拡散させる第三の過程と、

前記第二の領域と前記第三の領域とを結ぶ第五の領域をエッチングし、前記第五の領域に溝を形成する第四の過程と、

前記溝に絶縁体を埋め込む第五の過程と、

前記第二の領域上に絶縁性部材を形成する第六の過程と、

前記第三の領域の上方において前記絶縁体上に第一の電極を形成し、前記第二の領域の上方において前記絶縁性部材上に第二の電極を形成する第七の過程と、

第二の基板上に第三の電極と一对の信号線とを形成する第八の過程と、

前記第一の電極が前記一对の信号線に対向し、かつ、前記第二の電極が前記第三の電極に対向するように、前記基板の前記第一の領域の上面を前記第二の基板に接着させる第九の過程と、

前記不純物を拡散させた領域以外の前記基板の領域を除去する第十の過程と、  
からなるマイクロマシンスイッチの製造方法。

65. 基板上の第一及び第二の領域以外の領域をエッチングし、前記第一及び第二の領域を凸部として残す第一の過程と、



前記第一及び第二の領域と、前記第一の領域と前記第二の領域との間に位置する第三の領域と、前記第三の領域と前記第二の領域との間に位置する第四の領域と、前記第三の領域と前記第四の領域との間に位置する第五の領域とに不純物を拡散させる第二の過程と、

前記第一の領域と前記第三の領域とを結ぶ第六の領域と、前記第二の領域と前記第四の領域とを結ぶ第七の領域とに不純物を拡散させる第三の過程と、

前記第三の領域と前記第四の領域とを結ぶ第八の領域をエッチングし、前記第八の領域に溝を形成する第四の過程と、

前記溝に絶縁体を埋め込む第五の過程と、

前記第三の領域上に第一の絶縁性部材を形成し、前記第四の領域上に第二の絶縁性部材を形成する第六の過程と、

前記第五の領域の上方において前記絶縁体上に第一の電極を形成し、前記第三の領域の上方において前記第一の絶縁性部材上に第二の電極を形成し、前記第四の領域の上方において前記第二の絶縁性部材上に第三の電極を形成する第七の過程と、

第二の基板上に第四及び第五の電極と一対の信号線とを形成する第八の過程と、

前記第一の電極が前記一対の信号線に対向し、前記第二の電極が前記第四の電極に対向し、かつ、前記第三の電極が前記第五の電極に対向するように、前記基板の前記第一及び第二の領域の上面を前記第二の基板に接着させる第九の過程と、

前記不純物を拡散させた領域以外の前記基板の領域を除去する第十の過程と、  
からなるマイクロマシンスイッチの製造方法。

66. 前記基板はシリコンからなり、前記第二の基板はガラスからなり、前記基板は前記第二の基板に静電接着により接着されるものであることを特徴とする請求の範囲第56項乃至第65項の何れか一項に記載のマイクロマシンスイッチの製造方法。

67. 前記第二の基板はセラミック又はガリウムヒ素からなり、前記基板は前記第二の基板に接着剤を介して接着されるものであることを特徴とする請求の範囲第56項乃至第65項の何れか一項に記載のマイクロマシンスイッチの製造方法。

68. 前記第二の基板はセラミック又はガリウムヒ素からなり、  
前記第二の基板の表面にガラス薄膜を形成する過程を備え、  
前記基板は前記第二の基板に静電接着により接着されるものであることを特徴とする請求の範囲第56項乃至第65項の何れか一項に記載のマイクロマシンスイッチの製造方法。

69. 前記基板の領域を除去する過程は、前記不純物の濃度選択性が高いエッチング液に前記基板を投入し、前記不純物が拡散していない領域を溶解するものであることを特徴とする請求の範囲第56項乃至第65項の何れか一項に記載のマイクロマシンスイッチの製造方法。

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP99/07137

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl<sup>7</sup> H01H 59/00 , B81B 3/00 , B81C 1/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl<sup>7</sup> H01H 59/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched  
Jitsuyo Shinan Koho 1926-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2000  
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2000 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2000

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP, 4-370622, A (Matsushita Electric Works, Ltd.), 24 December, 1992 (24.12.92) (Family: none)	1, 2, 11, 36, 37, 40, 41
Y		39, 42-44, 50-52 , 54, 55
A		3, 10, 12, 45-49, 53, 56-61, 63-69
X	JP, 9-213191, A (Nippon Telegr. & Teleph. Corp. <NTT>), 15 August, 1997 (15.08.97) (Family: none)	1, 2, 10-12, 45-4 8
Y		42-44, 49-52, 54 , 55
A		3, 36, 37, 39-41, 53, 56-61, 63-69
Y	JP, 8-509093, A (Brooktree Corporation), 24 September, 1996 (24.09.96) & WO, 94018688, A1 & EP, 681739, A & US, 5479042, A & US, 5620933, A	39, 43

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier document but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search  
02 March, 2000 (02.03.00)

Date of mailing of the international search report  
28 March, 2000 (28.03.00)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP99/07137

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
	& US, 5627396, A & DE, 69417725, C	
Y	JP, 10-149757, A (OMRON CORPORATION), 02 June, 1998 (02.06.98) (Family: none)	43
Y	JP, 9-17300, A (Rockwell International Corp.), 17 January, 1997 (17.01.97) & US, 5578976, A & EP, 751546, A	44
Y	JP, 8-213803, A (Texas Instruments Inc.), 20 August, 1996 (20.08.96) & EP, 637042, A & CN, 1115067, A & JP, 8-21967, A & EP, 709911, A & US, 5526172, A & US, 5619061, A	42, 54, 55
Y	JP, 5-54782, A (Sharp Corporation), 05 March, 1993 (05.03.93) (Family: none)	49
Y	JP, 7-14490, A (Matsushita Electric Works, Ltd.), 17 January, 1995 (17.01.95) (Family: none)	49
Y	JP, 8-59627, A (OMRON CORPORATION), 22 September, 1998 (22.09.98) (Family: none)	49
Y	JP, 7-14490, A (Matsushita Electric Works, Ltd.), 17 January, 1995 (17.01.95) (Family: none)	50-52

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP99/07137

## Box I Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 1 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:  
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
2. ☒ Claims Nos.: 4-9,13-35,38,62  
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:  
See extra sheet.
3. ☐ Claims Nos.:  
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

## Box II Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 2 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

☐  
☐

The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.

No protest accompanied the payment of additional search fees.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP99/07137

Continuation of Box I.2 of continuation of first sheet (1)

"The conductive member", "the insulating member", and the upper electrode" described in claims 4, 5, and 9 are not mentioned before therein, indicating that there is no thing referred to with the definite article *the*. Therefore the statements of claims 4 to 9 are unclear.

The wording "a flexible beam member so provided that part of the flexible beam member faces the gap" described in claims 13, 22, and 30 is not supported by the detailed description of a preferred working example in the description and by the drawings. Therefore the statements of claims 13 to 35 are unclear.

"The semiconductor material" stated in claim 38 is not mentioned before therein, indicating that there is no thing referred to with the definite article *the*. Therefore the statement of claim 38 is unclear.

"The fourth region" and "the second electrode" stated in claim 62 are not supported by the detailed description of a preferred working example in the description and by the drawings. Therefore the statements of claims 62 is unclear.

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> H01H 59/00, B81B 3/00, B81C 1/00

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> H01H 59/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1926-1996年

日本国公開実用新案公報 1971-2000年

日本国登録実用新案公報 1994-2000年

日本国実用新案登録公報 1996-2000年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	J P, 4-370622, A (松下電工株式会社), 24. 12 月. 1992 (24. 12. 92), (ファミリーなし)	1, 2, 11, 36, 3 7, 40, 41
Y		39, 42-44, 50- 52, 54, 55
A		3, 10, 12, 45-4 9, 53, 56-61, 6 3-69

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&amp;」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

02. 03. 00

国際調査報告の発送日

28.03.00

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

岸 智章

3X

9327

電話番号 03-3581-1101 内線 3372

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	JP, 9-213191, A (日本電信電話株式会社), 15. 8月. 1997 (15. 08. 97), (ファミリーなし)	1, 2, 10-12, 45-48
Y		42-44, 49-52, 54, 55
A		3, 36, 37, 39-41, 53, 56-61, 63-69
Y	JP, 8-509093, A (ブルックトゥリー コーポレーション), 24. 9月. 1996 (24. 09. 96), &WO, 94018688, A1 &EP, 681739, A &US, 5479042, A &US, 5620933, A &US, 5627396, A &DE, 69417725, C	39, 43
Y	JP, 10-149757, A (オムロン株式会社), 2. 6月. 1998 (02. 06. 98), (ファミリーなし)	43
Y	JP, 9-17300, A (ロックウェル・インターナショナル・コーポレーション), 17. 1月. 1997 (17. 01. 97), &US, 5578976, A &EP, 751546, A	44
Y	JP, 8-213803, A (テキサス インストルメンツ インコーポレイテッド), 20. 8月. 1996 (20. 08. 96), &EP, 637042, A &CN, 1115067, A &JP, 8-21967, A &EP, 709911, A &US, 5526172, A &US, 5619061, A	42, 54, 55
Y	JP, 5-54782, A (シャープ株式会社), 5. 3月. 1993 (05. 03. 93), (ファミリーなし)	49
Y	JP, 7-14490, A (松下電工株式会社), 17. 1月. 1995 (17. 01. 95), (ファミリーなし)	49
Y	JP, 9-251834, A (オムロン株式会社), 22. 9月. 1997 (22. 09. 97), (ファミリーなし)	49
Y	JP, 7-14490, A (松下電工株式会社), 17. 1月. 1995 (17. 01. 95), (ファミリーなし)	50-52



## 第Ⅰ欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見 (第1ページの2の続き)

法第8条第3項 (PCT 17条(2)(a)) の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. ☐ 請求の範囲 \_\_\_\_\_ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。つまり、
2. ☒ 請求の範囲 4-9, 13-35, 38, 62 は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、  
  
(以下特別頁に続く。)
3. ☐ 請求の範囲 \_\_\_\_\_ は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

## 第Ⅱ欄 発明の単一性が欠如しているときの意見 (第1ページの3の続き)

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるとこの国際調査機関は認めた。

1. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求の範囲について作成した。
2. ☐ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求の範囲について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求の範囲のみについて作成した。
4. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求の範囲について作成した。

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあった。
- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがなかった。

請求の範囲4, 5および9の「前記導電性部材」又は「前記絶縁性部材」又は「上部電極」の記載は「前記」に対応する記載がないので、請求の範囲4-9の記載は不明確である。

請求の範囲13, 22, 30の「一部が前記ギャップと対向するようにして設けられた可撓性の梁部材」の記載は明細書の好ましい実施例の詳細な説明および図面の記載と対応していないので、請求の範囲13-35の記載は不明確である。

請求の範囲38の記載は、「前記半導体材料」の「前記」に対応する記載がないので不明確である。

請求の範囲62の記載は、「第四の領域」および「第二の電極」に関する記載が明細書の好ましい実施例の詳細な説明および図面の記載と対応していないので不明確である。